

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DJILALI BOUNAAMA DE KHEMIS MILIANA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Spécialité: Gestion des Ressources en Eau et Environnement

Mémoire pour l'obtention du diplôme de master

Thème

**L'évaluation de l'impact des fosses septiques sur la qualité physique-chimique et bactériologique des eaux souterraines
(cas de ouled Belkacem, Ain soltane, Ain defla)**

Soutenu le : 19 /06/2017

Par :

- Mr: Kreiria Mohamed
- Mr: Chita Hocine

Devant le jury :

Mr. GHARBI Benyoucef (Président)	MCB	UDBKM
Mr. BOUDERBALA Abdelkader (Promoteur)	MCB	UDBKM
Mme. BOUKEMIDJA Sarah (Examinatrice)	MAA	UDBKM
Mr. GUENFOUD Ahmed (Examineur)	MAA	UDBKM

Année universitaire : 2016/2017

REMECIMENT

Tout d'abord nous remercions Dieu Le tout puissant pour nous avoir gardé en pleine santé et pour nous avoir donné force et courage, sans quoi nous n'aurions pu conduire à termes de ce travail.

Ici, est aussi le lieu et la place de dire un grand MERCI aux êtres qui nous ont mis au monde, qui nous ont éduqués et qui nous ont également enseignés patience et persévérance : nos papas et mamans, nos frères et soeurs et proches familles .Pour Vos soutiens inconditionnels et encouragements incessants, pour lesquels points de mots pour exprimer avec satisfaction nos reconnaissances. Merci chers parents.

Conscience oblige ! Nous sommes en devoir de reconnaître les efforts des personnes ayant contribué de près ou de loin, d'une quelconque manière à rendre ce travail imparfait toujours un peu plus meilleur.

Nos pensées vont en premier lieu à M. BOUDARBALA.A, un encadreur qui sait se distinguer de la masse, premièrement, par sa volonté de donner le meilleur de lui-même, cela se traduit par sa rigueur dans le travail, toujours à la recherche de ce qui est mieux chez ses étudiants à le faire ressortir et, deuxièmement son ouverture d'esprit, qui se traduit par son attitude à vouloir partager ses acquis précieux sans façon avec étudiants et collègues. C'était un honneur de travailler à vos côtés, monsieur. Merci encadreur émérite.

Nous adressons nos vifs remerciements au membre du jury :M. GHARBI .B le président, et à notre examinateurs M.GUENFOUD.A et Mme BOUKEMIDJA.S Merci à vous de bien vouloir contribuer au perfectionnement de ce travail modeste. À travers vous, nous adressons nos gratitude au corps enseignant, à notre département et à l'Université toute entière.

J'ai l'honneur de présenter ma gratitude et je tiens de remercier vivement le service des Algériens des eaux (ADE) pour nous avoir accepté de faire les analyses physico-chimiques et bactériologique.

Nous témoignons, enfin, pour l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Blida au nom de tous les étudiants pour leur disponibilité et leur générosité à vouloir partager leur travail avec nous. Merci pour votre contribution à la science.

Nous n'oublierons pas nos Amis qui ont toujours été à nos côtés et ont su trouver les bons mots lorsque nous en avons besoins dans les moments difficiles. À nos collègues en des gestions des ressources en eaux et Environnement.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Avant toute dédicace je tiens à remercier « Allah » le tout puissant qui m'a donné le courage pour mener ce travail à terme.

Je dédie ce modeste travail,

A mes très chers parents,

A mes grands parents.

A mes frères; Brahime, Mohamed et Djillali

A mes soeurs ; Fouzia, Hakima et Hanen.

A mes chères amis ; Daoued, Abl el kader, Omar, Sofian, Kamel, Bilal, Lakhedhar, Ahmed, Abd el ghani, Hamza, Hamido, Hocine,

Saleh, Bouelam, Hassen, Mohamed

À mes grande famille ;

Grand-père et grand-mère, oncles et tantes, cousines et cousins,

Sans oublier que sa tante et son oncle Hayet et Manel

*A tous mes enseignants depuis mon premier pas à l'école
jusqu'aujourd'hui.*

A toute la promotion de 2^{ème}

Année master gestion des ressources en eau et

Environnement

A mon binôme Hamido et toute sa famille.

Mille excuses à ceux que j'oublie.

Hocine

Dédicaces

Avant toute dédicace je tiens à remercier « Allah » le tout puissant qui m'a donné le courage pour mener ce travail à terme.

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers, en particulier mon cher père qui ne cesse de donner sans jamais recevoir, dont je suis fière et j'espère que Dieu lui accorde une longue vie pour qu'il puisse assister à d'autres succès.

A ma chère mère, symbole du sacrifice et du dévouement, qui m'a accompagnée durant tout ce parcours laborieux, veillé sur moi m'offrant ce qu'une mère a de mieux, l'amour et la compréhension.

A mon frère; Zineddine et a mes sœurs; Nassima et Nihal

A toute ma grande famille, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance et mes sincères gratitudees.

*A mes chères amis ;Achor, Hassan, Hamza, Salah, Hocine, Amin,
Yacin, Nouredine*

*A toute la promotion de 2^{ème} Année master gestion des ressources en
eau et Environnement*

Sans oublier de remercier tous mes enseignants.

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce
travail, ne serait-ce que par humble présence.*

A mon binôme Hocine et toute sa famille.

Mohamed

Table de matières	PAGE
introduction général	01
Chapitre I : Aperçu bibliographique	
I.1. Notion de la pollution de l'eau	02
I.2. Pollution des eaux souterraines	02
I.3. Type des pollutions	02
I.3.1. pollution ponctuelle.....	02
I.3.2. pollution diffusée.....	03
I.4.Origine des pollutions	03
I.4.1.Pollution urbaine.....	03
I.4.2.Pollution industrielle.....	04
I.4.3.Pollution agricole.....	04
I.4.4.Pollution naturelle.....	05
I.4.5.Pollution par des eaux pluviales.....	05
I.5. Natures des polluants des eaux souterraines	05
I.5.1. Polluants physiques	05
I.5.2. Polluants chimiques	06
I.5.3. Polluants microbiologiques	09
I.6.Mécanismes du transfert et évolution des polluants en milieu souterraines	09
I.6.1. Les processus Physiques.....	10
I.6.2. Les processus Biochimiques	11
I.7. Généralité sur les fosses septiques	11
I.7.1. Construction d'une fosse septique (collective)	12
I.7.2. Dimensionnement d'une fosse septique	14
I.7.3. Les fosses septiques individuelles	17
I.7.4. Entretien de la fosse septique	18
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude	
II.1. Contexte géographique	19
II.2. Contexte climatologique	20
II.2.1. Température.....	21
II.2.2. Précipitation.....	21
II.2.2.1. Précipitations moyennes mensuelles.....	21
II.2.2.2. Précipitations moyennes annuelles.....	22
II.2.3. Vent	23
II.2.4. Humidité.....	23
II.3. Pédologie	24
II.4. Contexte géologique	24
II.4.1. Les terres anté-miocènes.....	24
II.4.2. Les terres poste-miocènes.....	24
II.5. Contexte hydrogéologique	26
II.5.2. alimentation de l'aquifère alluvionnaires.....	26
II.6.conclusion	27
Chapitre III : Matériels et les méthodes	
III.1.introduction	28
III.2. Méthodes d'acquisition des données	28
III.2.1. Echantillonnage.....	28
III.2.2. Modes de Prélèvements.....	28
III.2.3. Mesure in situ.....	29
III.3. Les analyses	30
III.3.1. Paramètres physico-chimiques.....	30
III.3.2. Paramètres bactériologiques.....	30

III.4. Méthodes d'évaluations de la qualité des eaux	30
III.4.1. Balance ionique.....	30
III.4.2. Minéralisation globale.....	31
III.4.3. Faciès chimiques.....	31
III.4.3.1. Diagramme losangique de piper.....	31
III.4.3.2. Diagramme semi-logarithmique Shoeller-Berkaloff.....	32
III.4.3.3. Diagramme de Stabler.....	32
III.4.4.Indices d'Echange de Bases (I.E.B).....	32
III.4.5. Diagrammes binaires.....	33
III.5. Potabilité de l'eau	33
III.5.1. Norme de potabilité des eaux de consommation	33
III.5.2. Dureté totale	34
III.6. Eau destinée à l'irrigation	34
III.6.1. Classification des eaux d'irrigation sur la base du SAR.....	34
III.6.2.Classification des eaux d'irrigation sur le diagramme de Riverside et wilcox ...	35
III.7.conclusion	35
Chapitre IV : Résultats et discussion	
IV.1. Présentation des données	36
IV.2. Balances ioniques	40
IV.3. Statistique élémentaire	42
IV.4. Interprétation des résultats d'analyses	43
IV.4.1. Paramètres physiques	43
IV.4.2. Paramètres chimiques	47
IV.5. Détermination Des Principaux Faciès Chimiques	53
IV.5.1.faciès chimique d'eau des puits selon diagrammes de Piper et Schoeler – Berkaloff.....	53
IV.5.2. faciès chimique d'eau des puits selon diagramme Stabler	62
IV .6. Processus de minéralisation	63
IV.6.1. Digrammes binaires	63
IV.6.2. Matrice de corrélation entre les éléments	68
IV.6.3. Indices d'échange de base (IEB).....	68
IV.7. Aptitude des eaux à l'irrigation	69
IV.7.1. l'eau à l'irrigation des puits selon diagramme Riverside.....	70
IV.7.2. l'eau à l'irrigation des puits selon diagramme Wilcox.....	71
IV.8. Paramètre bactériologique	70
IV.9.conclusion	71
Conclusion générale	72
Références bibliographiques	72

ANNEXE

Liste des figures	page
Figure 1. Schéma d'une fosse septique	12
Figure 2. Dimensionnement d'une coupe longitudinale de fosse septique	14
Figure 3. installation composée d'une fosse septique et d'un lit filtrant	17
Figure 4. Situation de la région d'étude sous une image satellitaire (Juin 2004) Source CU EL Khemis	18
Figure 5. Carte de situation de secteur d'étude Extrait de la carte topo. de Djendel ouest 72	19
Figure 6. Variation des températures annuelles à la station du barrage Harraza (période de 1986 à 2016, ANRH-Blida)	20
Figure 7. Variation des précipitations annuelles dans la station du barrage Harraza (1986-2016)	21
Figure 8. Précipitations moyennes annuelles (station du barrage Harraza 1986/2016)	21
Figure 9. Évolution des moyennes interannuelles de la vitesse des vents (1986 à 2016) (ANRH Blida, 2017)	22
Figure 10. Carte géologique de la région d'Ouled Belga cem. Extrait de la carte géo. Miliana n°84	24
Figure 11. profil géo-électrique dans la zone d'étude	25
Figure 12. Situation des points d'échantillonnage	37
Figure 13. Variation de la température des eaux des puits dans la zone d'étude	44
Figure 14. Variation de pH des eaux des puits dans la zone d'étude	45
Figure 15. Variation de CE des eaux des puits dans la zone d'étude	46
Figure 16. Variation de TDS des eaux des puits dans la zone d'étude	47
Figure 17. Variation de l'oxygène dissous des eaux des puits dans la zone d'étude	48
Figure 18. Variation de Calciums des eaux des puits dans la zone d'étude	49
Figure 19. Variation de magnésiums des eaux des puits dans la zone d'étude	50
Figure 20. Variation de TH des eaux des puits dans la zone d'étude	51
Figure 21. Variation de sodiums des eaux des puits dans la zone d'étude	51
Figure 22. Variation de potassiums des eaux des puits dans la zone d'étude	52
Figure 23. Variation de chlorures des eaux des puits dans la zone d'étude	53
Figure 24. Variation de bicarbonates des eaux des puits dans la zone d'étude	53
Figure 25. Variation de sulfates des eaux des puits dans la zone d'étude	54
Figure 26. Diagramme de PIPER pour les prélèvements de la 1 ^{er} campagne du 7/12/2016	55
Figure 27. Diagramme de PIPER pour les prélèvements de la 2 ^{eme} campagne du 18/12/2016	56
Figure 28. Diagramme de PIPER pour les prélèvements de la 3 ^{eme} campagne du 27/02/2017	57
Figure 29. Diagramme de PIPER pour les prélèvements de la 4 ^{eme} campagne du 06/03/2017	57
Figure 30. Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les prélèvements de la 1 ^{ere} campagne du 7/12/2016	58
Figure 31. Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les prélèvements de la 2 ^{eme} campagne du 18/12/2016	59
Figure 32. Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les prélèvements de la 3 ^{eme} campagne du 27/02/2017	60
Figure 33. Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les prélèvements de la 4 ^{eme} campagne du 06/03/2017	61
Figure 34. relation $(Ca^{+2}+Mg^{+2})$ Vs $CE_{25^{\circ}C}$	62
Figure 35. Relation $(Ca^{2+}$ Vs Cl^{-})	64
Figure 36. relation $(Mg^{2+}$ Vs Cl^{-})	64
Figure 37. Relation $(Ca^{2+}$ Vs SO_4^{2-})	65
Figure 38. Relation $(Mg^{2+}$ Vs SO_4^{-})	65
Figure 39. Indices d'échange de base (IEB)	69
Figure 40. Projection des points sur le diagramme Riverside	70
Figure 41. Projection des points sur le diagramme Wilcox	71
Figure 42. Variation de la Coliforme totaux des eaux des puits dans la zone d'étude	71
Figure 43. Variation de la Coliforme fécaux des eaux des puits dans la zone d'étude	72
Figure 44. Variation de la Streptocoques fécaux des eaux des puits dans la zone d'étude	72

Liste des tableaux		page
Tableau 1. Les compagnes de prélèvement 2016/2017		36
Tableau 2. Résultats des analyses physico-chimiques pour les quatre compagnes		38
Tableau 3. Résultats d'analyses bactériologiques		40
Tableau 4. Les paramètres statistiques de la qualité physico-chimique des eaux de la zone d'étude		42
Tableau 5. Suivant regrouper les résultats des balances ionique		45
Tableau 6. Classification des eaux des puits sur la base de la CE		46
Tableau 7. Classification des eaux des puits sur la base de la TDS		47
Tableau 8. Classification de l'eau des puits par la TH dans la zone d'étude (De Fulvio et oiori,1976)		50
Tableau 9. Faciès chimiques des eaux de puits par diagramme de Stabler		63
Tableau 10. Matrices de corrélation pour la 1 ^{er} compagne		67
Tableau 11. Matrices de corrélation pour la 2 ^{eme} compagne		67
Tableau 12. Matrices de corrélation pour la 3 ^{eme} compagne		68
Tableau 13. Matrices de corrélation pour la 4 ^{eme} compagne		68
Tableau 14. Classification des eaux d'irrigation en fonction de la C.E et du S.A.R		70

LISTE DES ABREVIATIONS

ABREVIATIONS	SIGNIFCATIONS
$\mu\text{s/cm}$	micro siemens par centimètre
ADE	Algérienne des Eaux
AEP	Alimentation en Eau Potable
ANRH	Agence nationale des ressources hydrauliques
BI	Balance Ionique
EDTA	Acide Ethylène Diamine Tétra acétique
RFEA	Réseau Francophone sur l'Eau et l'Assainissement
HCl	Acide chlorhydrique.
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
CT	Coliformes Totaux
CF	Coliforme Fécaux
SF	Streptocoques Fécaux

ملخص

استخدام الآبار التقليدية المستعملة في توريد مياه الشرب في منطقة اولاد بلقاسم التي تتعدم فيها شبكة الصرف الصحي. وتصريف المياه فيها يتم في الهواء الطلق يؤدي إلى تلوث محتمل لطبقة المياه الجوفية الطمي لسهل الشلف الاعلى في المنطقة.

خلال هذا العمل قمنا بمراقبة نوعية المياه الفيزيائية الكيميائية والبكتريولوجية لبعض الآبار الواقعة في منطقة أولاد بلقاسم المتواجدة جنوب بلدية عين سلطان.

تبين نتاج التحليل أن معظم الآبار تحتوي على تراكيز مرتفعة لكل من الكلوريد و الكبريتات حيث انها تتجاوز معايير منظمة الصحة العالمية، كما توجد جراثيم بكتيرية في مياه الآبار التي قمنا بمراقبتها. ربما تكون هاته التراكيز المرتفعة مرتبطة بالتلوث العضوي والزراعي حيث توجد العديد من حفر الصرف الصحي التقليدية وكذا الاستخدام المفرط لبعض الأسمدة المستعملة في الزراعة وبالتالي فإن مياه هذه الآبار ملوثة وغير صالحة للشرب باعتبار ان الجراثيم مسببة للعديد من الأمراض و هذا ما يشكل مشكلة صحية عامة كبيرة

الكلمات المفتاحية : التلوث ، عين السلطان، حفر الصرف الصحي التقليدية، نوعية المياه الجوفية،سهل الشلف الاعلى

Abstract

The use of traditional wells for the drinking water supply in an area where there is an absence of the sewage network and the discharge effected into the natural environment can caused a contamination of the groundwater in the alluvial upper Cheliff aquifer .

During this work, the physicochemical and bacteriological water quality of a few wells located in the country side of Ouled Belgacem (south of the city of Ain Soltane) were monitored.

The results of the analysis show that the majority of wells have chloride and sulphate concentrations exceed WHO drinking water standards, with the presence of bacterial germs in the waters. This contamination is probably related to the organic and agricultural pollution, where the septic tanks and some of fertilizers were used in this area. So the groundwater of these wells is contaminated and unfit for human supply because the pathogenic germs pose a major public health problem.

Key words: pollution, Ain Soltane, septic tank, groundwater quality, alluvial aquifère, upper cheliff..

Résumé

L'utilisation des puits traditionnels pour l'alimentation en eaux potable dans une zone où il y a une absence du réseau d'assainissement et le rejet se fait dans le milieu naturel fait soupçonner qu'il y a une contamination de la nappe alluviale du haut Cheliff dans la région.

Durant le travail de ce mémoire nous avons réalisé un suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique de quelques puits situés dans la région de douar Ouled Belgacem (Sud de la commune de Ain Soltane).

Il ressort des résultats d'analyse que la majorité des puits ont des teneurs en chlorures et sulfates dépassent les normes OMS, avec la présence de germes bactériens dans les eaux des puits prospectés. Cette contamination est probablement liée à la pollution organique et agricole par les fosses septiques et l'utilisation de quelques engrais dans l'agriculture. Donc les eaux de ces puits sont contaminés et impropre à consommation humaine car les germes pathogènes posent un grand problème pour la santé publique.

Mots clés : pollution, Ain Soltane, fosse septique, qualité des eaux souterraines, aquifère alluvial, haut cheliff.

*INTRODUCTION
GÉNÉRALE*

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est une richesse naturelle précieuse mais fragile et limitée, indispensable à la vie et à toute activité humaine. Elle est utilisée pour des usages domestiques, agricoles ou industriels. Les eaux souterraines jouent un rôle prépondérant dans l'alimentation en eau potable et le développement de l'irrigation. Cependant ces eaux souterraines peuvent être sujettes à différentes formes de pollutions surtout pour les nappes alluviales (**Jamet et al.1996**). En effet ces eaux de nappe constituent la principale source pour une grande partie des populations.

L'absence du réseau de distribution d'eau potable oblige la population dans notre zone d'étude (Douar Ouled Belkacem - commune d'Ain Sultane) à utiliser directement les eaux de puits traditionnels n'ayant subi aucun traitement préalable, dans leur alimentation.

Aussi la population, face à l'inexistence de réseaux d'assainissement, rejette directement les déchets liquides et solides dans le milieu naturel. Egalement, les lieux d'aisance sont constitués par des fosses défectueuses dont les normes de construction n'ont pas été respectées. Alors, la qualité chimique et microbienne des eaux de puits situés sous un tel environnement est gravement menacée.

Les conséquences des rejets des eaux usées en absence d'un traitement efficace des effluents touchent directement ou indirectement la santé humaine. Le manque d'hygiène et la mauvaise qualité surtout bactériologique des eaux souterraines sont responsables de l'apparition et la propagation de maladies hydriques.

Le présent travail, qui entre dans le cadre d'un mémoire de fin d'études à pour objectifs :

L'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de certains puits utilisés pour l'AEP existant dans Ouled Belkacem. Montrer l'effet des fosses utilisées pour évacuer les eaux usées sur les eaux de la nappe d'une façon générale et sur les puits en particulier. La présente étude est structurée en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, une synthèse bibliographique sur la pollution des eaux en générale et la pollution des eaux souterraines en particulier ;
- Localisation de la zone d'étude, les caractéristiques des formations géologiques, l'analyse des principales conditions climatiques et hydrologiques (précipitations, températures et écoulements) de la région d'étude sont présentées dans le deuxième chapitre,
- Le chapitre trois expose le matériels et méthodes utilisés dans la présente étude, pour évaluer la qualité physico chimique et bactériologique des eaux échantillonnées.
- Le quatrième chapitre est consacré à l'interprétation des différents résultats.

Enfin, une conclusion générale et des recommandations seront données.

Chapitre I

APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE

I. 1. Notion de la pollution de l'eau

Le terme « pollution » désigne la présence d'une substance au-delà d'un seuil pour lequel des effets négatifs sont susceptible de se produire.

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, à travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes (**Blinda 2007**).

Les plus graves problèmes de pollution qui se présentent actuellement proviennent des rejets dans l'environnement, des substances à la fois très nocives et peu biodégradables (**Blinda 2007**).

L'eau est la cible de toutes formes de pollution, ce qui constitue une menace pour la contamination de l'eau. On estime qu'un litre d'eau polluée peut engendrer la pollution de six litres d'eau salubre, et que 25 gouttes d'huile de moteur suffisent à contaminer un mètre cube d'eau (**Blinda 2007**).

I. 2. Pollution des eaux souterraines

L'eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle contient des substances autres que celles liées à la nature des terrains qu'elle a traversés ou dans lesquelles elle séjourne.

Cependant, dans le cas d'absence totale des constituants étrangers au système réservoir/eau, l'eau souterraine peut être impropre à la consommation, lorsque les concentrations de ces constituants dissous ou en suspension dépassent les normes admissibles.

La pollution modifie certaines caractéristiques de l'eau (composants physico-chimique, bactériologiques,...) et suscite une altération qui la rend impropre à certains usages (**Alili et Hadj Kadour 2007**).

I. 3. Type des pollutions

On distingue deux types de pollutions

I.3.1 Pollution ponctuelle

Ils correspondent à l'exutoire d'un réseau, et peut s'apparenter à un affluent d'eau chargée en matières polluantes : la conduite d'évacuation d'une usine, le rejet d'un réseau d'eaux usées

urbains ou d'une station d'épuration, le tuyau de la fosse septique d'une résidence, en sont autant d'exemples (**Brigitte 2003**).

Ces rejets sont bien localisés. Ils ont donc un impact important au point d'injection dans le système aquatique. En revanche, leur quantification hydraulique et chimique

Ne pose en général pas de problème. De même, leur traitement est, dans le principe, techniquement facilité. Il suffit d'intercaler un système d'épuration entre le rejet et le milieu, ou de détourner les effluents vers un autre réseau (**Brigitte 2003**).

I.3.2 Pollution diffusée

Ils correspondent à des zones d'apports non localisés. Il s'agit par exemple des ruissellement sur les terres agricoles de l'alimentation souterraine de rivières par de nappes phréatiques chargées en nitrates, de secteurs d'habitations dispersées dont les effluents s'écoulent librement et s'infiltrent dans le sol (**Brigitte 2003**).

Les pollutions qui en résultent sont insidieuses car mal individualisées et sont cumulatives. Leur évaluation et leur traitement en sont donc rendus délicats et onéreux, nécessitant souvent des actions de grande envergure : information et maîtrise sur l'assainissement individuel, mise en conformité des sièges d'exploitation agricole, etc. (**Brigitte 2003**).

I.4.Origine des pollutions

La plupart des contaminations des eaux souterraines est due à l'activité humaine. Elle peut être liée à l'évacuation des déchets d'une manière directe ou indirecte.

I.4.1. Pollution urbaine

Elle provient des agglomérations ou des centres d'activité dépourvus de réseau d'assainissement ou de stations d'épuration qui rejettent directement dans le milieu Naturel (**Tandjir 2012**). Dans le cas où il existe une station d'épuration, les eaux épurées à la Sortie de cette station contiennent encore au moins 5 % de la charge organique à initiale (**Brigitte 2003**) Dans les deux scénarios, le milieu naturel reçoit un supplément de charge organique.

La pollution domestique se caractérise par la présence des germes fécaux, de fortes Teneurs en matières organiques, des sels minéraux et des détergents (**Gaujout 1995**).

Ses effets correspondent à un enrichissement de l'écosystème aquatique. Le Résultat est un niveau trophique global plus élevé.

I.4.2. Pollution industrielle

Elle constitue la deuxième source de pollution des eaux de surface et souterraine, et peut avoir des causes variées. Les plus fréquentes sont les dépôts de déchets, les bassins d'eau de lavage ou de traitement de l'industrie minière, métallurgique ou chimique, qui ont été placés sans précautions, sur des terrains trop perméables.

Les installations de stockage ou de transport des produits et déchets des complexes chimiques, raffineries, papeteries, industries alimentaires, peuvent aussi donner lieu à des pollutions chroniques ou accidentelles (**Touhari 2015**).

Cette pollution est caractérisée par :

- des matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires) ;
- des hydrocarbures (raffineries) ;
- des métaux (traitement de surface métallurgique) ;
- des acides, bases et produits chimiques divers (industries chimiques) ;
- de l'eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques) ;
- des matières radioactives (centrales nucléaires) (**Touhari 2015**).

I.4.3. Pollution agricole

Cette pollution est étendue dans l'espace et dans le temps; elle est chronique et concerne de grandes surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et les rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines, alors que les professionnels agricoles ont longtemps remarqué l'impact de leur activité agricole sur la qualité de l'eau et refuse la moindre contrainte (**Touhari 2015**).

Le transfert des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires. La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Une pollution ponctuelle commune est fournie par les eaux de rinçages des récipients et appareils d'épandage. L'épandage des boues de stations d'épuration pose problème par leur charge possible en métaux lourds et germes, en plus de leur richesse en azote résiduelle après culture (**Touhari 2015**).

I.4.4. Pollution naturelle

Les eaux souterraines contiennent quelques impuretés, même si elles ne sont pas affectées par les activités humaines. Les types et les concentrations d'impuretés naturelles dépendent de la nature du matériel géologique par lequel les eaux souterraines se déplacent, et de la qualité de l'eau de recharge. Les eaux souterraines se déplacent à travers les roches et les sols sédimentaires, elles peuvent absorber un éventail de composés tels que le magnésium, le calcium, et les chlorures. Certaines couches aquifères ont des concentrations naturelles élevées en constituants dissous tels que l'arsenic, le bore, et le sélénium. L'effet de ces sources normales de contamination sur la qualité d'eaux souterraines dépend du type du contaminant et de ses concentrations (**Hamidi 2011**).

I.4.5. Pollution par les eaux pluviales

Apparue depuis qu'il existe des réseaux de collecte spécifique, avec des points de concentration des rejets, elle engendre de graves perturbations, surtout lorsqu'elle prend une importance relative plus grande (rejets domestiques mieux traités).

Ces rejets sont caractérisés par :

- Une teneur importante en matières minérales en suspension (sables, graviers, poussières).
- La présence de nombreux détritiques solides ou flottants de petite taille.
- Une concentration forte en toxiques et hydrocarbures (lessivage de parking, résidus d'échappement des véhicules, les résidus de corrosion des équipements métalliques, etc.).

L'irrégularité de ces rejets et les volumes d'eau importants qu'ils mettent en jeu rendent difficile et onéreux leur traitement (**Brigitte et al. 2003**).

I.5. Nature des polluants des eaux souterraines

I.5.1. Polluants physiques

Les principaux agents physiques sont : la thermique et la radioactivité, etc (**Lallemand et Roux 1989**).

a .pollution Thermique

La pollution thermique peut être naturelle, dans le cas des sources chaudes ou des étangs peu Profonds pendant l'été, ou causée par les humains, par la décharge de l'eau qui a été utilisée pour refroidir les centrales électriques ou autre équipement industriel. Les poissons et les plantes supportent certaines températures et des niveaux d'oxygène pour survivre, alors la pollution thermique réduit souvent la diversité de la vie aquatique dans l'eau (**Redvet 2009**).

L'élévation de la température d'un milieu a deux effets notables :

- Réduction de la quantité d'oxygène dissous dans les milieux aquatiques.
- Augmentation de l'activité métabolique des organismes (jusqu'à un certain seuil) et donc leur consommation en oxygène.

B. pollution radioactiv

Est potentiellement le plus dangereux des polluants physiques, c'est pourquoi, tous les rejets sont sévèrement réglementés et contrôlés.

Les radioéléments ont une durée de vie plus ou moins longue et se désintègrent en humain, Émettant des rayonnements dangereux. Lorsque des radioéléments sont fixés dans le corps ils peuvent être dangereux même si la quantité totale de rayonnements émis est faible, car ils Atteignent les cellules et peuvent créer des tumeurs (caractère mutagène des radiations) (**Bonche 2002**).

I.5.2. Polluants chimiques

L'eau par son pouvoir dissolvant élevé, dissout les substances rejetées par l'activité humaine. Les polluants sont nombreux et d'origines diverses : sels minéraux, métaux lourds, pesticides, détergent et hydrocarbures...etc.

a. Nitrates

Les nitrates sont essentiellement d'origine agricole, leurs teneur maximum dans l'eau potable est fixé à 50mg/l.

Les plus nocifs sont les composés de l'azote : nitrate (NO_3^-) et nitrites (NO_2^-). Ils Provoquent des troubles graves chez les jeunes vertébrés par dégradation de l'hémoglobine du sang (**Baptiste et Rabel 1995**).

Les nitrates ne sont pas directement toxiques pour l'homme. Le risque provient de leur

Transformation en nitrites dans l'appareil digestif. Ils provoquent l'oxydation de l'hémoglobine en méthémoglobine, celle-ci est alors incapable d'assurer le transport de l'oxygène.

La pollution par les nitrates intervient quand l'apport d'engrais n'est pas complètement utilisé par les plantes. Les nitrates, solubles dans l'eau, descendent vers les nappes à des vitesses variables selon la nature du sol.

b. Phosphates

Les phosphates rejetés dans l'environnement proviennent des sources agricoles (engrais) et Industrielles, de déjections humaines et de détergents ou lessives phosphatées.

Les phosphates sont les principaux responsables du phénomène d'eutrophisation. En effet, Non toxiques en eux-mêmes pour la vie animale et végétale, ils portent atteinte à l'environnement dès qu'ils sont en fortes concentrations : ils deviennent alors de véritables engrais pour les milieux aquatiques qu'ils enrichissent en matière organique (**Baptiste et Rabel 1995**).

c. Les sulfates et les chlorures

Sont naturellement présents dans l'eau souterraine (dissolution des sels minéraux des réservoirs). Les chlorures, par leurs persistances dans tous les milieux, constituent d'excellents traceurs naturels. Leur teneur maximum dans l'eau potable est fixé à 250mg/l (**Baptiste et Rabel 1995**).

d. Les micropolluants

Les micropolluants présents dans l'eau comprennent une multitude de composés minéraux et organiques dont les effets sur les organismes vivants peuvent être toxiques à de très faibles concentrations (de l'ordre généralement du microgramme par litre). La contamination des eaux de surface est due essentiellement à des rejets directs (égouts non raccordés à un système d'épuration, par exemple), au ruissellement de l'eau sur des surfaces contaminées ou encore à l'érosion de particules de sol. Les eaux souterraines sont, quant à elles, contaminées suite à l'infiltration des micropolluants dans le sol et le sous-sol. On distingue les apports ponctuels où les sources de pollution sont clairement identifiées (rejets industriels, pollution accidentelle, rejets des eaux usées domestiques), des sources diffuses liées principalement aux activités agricoles et aux retombées atmosphériques.

On distingue généralement trois grands groupes de micropolluants : les micropolluants organiques, les micropolluants minéraux et les micropolluants organométalliques.

✚ Micropolluants organiques

Regroupent plusieurs types de composés contenant un ou Plusieurs atomes de carbone. Ce groupe de micropolluants peut être scindé en deux grandes Familles : les pesticides et les autres micropolluants organiques.

- **Les pesticides** : regroupent notamment les insecticides Organochlorés. organophosphorés, Carbamates, pyréthriinoïdes...), les fongicides, les herbicides, les rodenticides et les Bactéricides.
- **Les hydrocarbures** : les plus connus sont les hydrocarbures aromatiques. **polycycliques(HAP)** qui se forment lorsque la combustion des matières organiques est incomplète. Ces Composés sont dès lors présents de manière non intentionnelle dans de nombreux matériaux (Goudrons, carburants...).
- **Les diphényles poly chlorés (PCB)** : ces molécules de synthèse possèdent des propriétés Particulières (stabilité thermique, résistance à l'oxydation...) qui font qu'elles ont été Largement utilisées comme isolants dans les condensateurs et transformateurs électriques.
- **Les dibenzodioxines poly chlorées (PCDD) ou dioxines** : ce sont des sous-produits générés lors de la synthèse d'autres produits et lors de la combustion de certains déchets et produits Pétroliers.
- **Les dibenzofurannes poly chlorés (PCDF) ou furannes** : il s'agit aussi de sous-produits Générés involontairement lors de la synthèse d'autres composés.
- **Les détergents** (ou surfactants) qui possèdent des propriétés tensioactives...

Certains micropolluants organiques (comme les PCB, les dioxines, les furannes et certains Pesticides) font partie des POP (polluants organiques persistants). Il s'agit de composés extrêmement toxiques et peu biodégradables qui peuvent, d'une part être transportés sur de longues distances par les courants atmosphériques, et d'autre part, s'accumuler dans les tissus le long de la chaîne alimentaire (**Chalon et al. 2006**).

✚ Les micropolluants minéraux

Sont représentés essentiellement par les éléments traces métalliques (ETM). Les principaux ETM rencontrés dans les eaux sont le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le chrome (Cr), le mercure

(Hg), l'arsenic (As), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le nickel (Ni). Ces éléments sont présents naturellement dans les roches et les sols, mais les niveaux de concentration actuels résultent pour la plupart de diverses activités humaines (sidérurgie, tannerie, transport routier, effluents agricoles...).

Les micropolluants organométalliques

Sont des molécules mixtes dans lesquelles un ion métallique est lié à un groupement organique (ex: méthyle de mercure).

Les micropolluants ne sont pas toxiques uniquement pour la faune et la flore aquatiques Mais aussi pour les êtres humains. La toxicité dépend de plusieurs facteurs tels que le type de Micropolluant, la dose reçue et la voie d'exposition (voie alimentaire, inhalation, passage à travers la peau). Les principaux effets observés sont la formation de radicaux libres, l'altération de l'expression des gènes, une toxicité au niveau d'un tissu ou d'un organe. Ces effets ont pour conséquences l'apparition de diverses pathologies : cancers, immunodéficience, infertilité, problème de croissance, maladie d'Alzheimer, malformations des nouveaux- nés (**Chalon et al. 2006**).

I.5.3. Polluants microbiologiques

Les bactéries, virus et autres agents pathogènes rencontrés dans les eaux souterraines, peuvent provenir des décharges, de fosses septiques, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières, ...etc. (**Lallemand 1989**).

I.6. Mécanismes du transfert et évolution des polluants en milieu souterrain

Dans le milieu souterrain, l'évolution des polluants est très lente, comparativement à ce qui se passe en surface. Il s'écoule des mois, des années, voir des dizaines d'années, entre le début de la pollution et sa mise en évidence. Les volumes infiltrés peuvent donc être très importants. Le milieu souterrain intègre successivement tous les événements polluants, et les nuisances peuvent se maintenir très longtemps après le tarissement des sources de pollution (**http : //www.upicardie.fr. Consulté en Mai 2015**).

En réalité, le transfert des eaux d'infiltration transportant des pollutions est entièrement contrôlé et commandé par la nature et les caractéristiques des terrains traversés, ainsi que les caractères des polluants.

Les processus responsables du transport des polluants dans la zone non saturée sont principalement l'advection, la dispersion mécanique et la diffusion moléculaire liquide. Dans la zone saturée, c'est quasi exclusivement sous forme dissoute que les polluants sont transportés. En bref, les principaux mécanismes de transformation et d'atténuation du polluant en milieu souterrain peuvent être définis comme suites (**Aissaoui 2013**).

I.6.1. Les processus Physiques

a. La volatilisation

Elle fait référence au transfert d'une substance de la surface du sol vers l'atmosphère. Dans le contexte des eaux souterraines, la volatilisation ne constitue pas un processus efficace de dissipation si le polluant a migré au-dessous de la surface du sol.

(**Aissaoui 2013**).

b. L'adsorption

Les phénomènes d'adsorption et de désorption peuvent retarder efficacement la migration des polluants dans le sol. Les constituants du sol les plus susceptibles d'être impliqués dans le processus sont ceux qui possèdent une grande surface spécifique (cas des argiles) ou encore des sites très réactifs sur lesquels peuvent se fixer diverses substances (cas de la matière organique). Le degré d'adsorption d'un polluant sera fortement relié à sa nature chimique (**Aissaoui 2013**).

c. Le Lessivage

Le lessivage des composés organiques sera régi en grande partie par les caractéristiques intrinsèques du sol tel que la porosité, le pH, le taux d'humidité et la teneur en argile et en matières organiques, de même que par les conditions météorologiques. En ce qui concerne les conditions climatiques, la durée et l'intensité des précipitations augmenteront ou atténueront la migration du polluant selon l'étendue de la diffusion ascendante (évaporation) relative au flux descendant (lixiviation) (**Aissaoui 2013**).

d. La photo décomposition

Une molécule de polluant qui est capable d'absorber de l'énergie en provenance du soleil pourra subir un certain nombre de réaction photochimiques entraînant ainsi sa dégradation. Le mécanisme n'est donc actif qu'à la surface du sol (**Aissaoui 2013**).

I.6.2. Les processus Biochimiques

a. Dégradation chimique

Les réactions chimiques les plus probables dans le milieu souterrain sont les processus d'hydrolyse des polluants qui se produisent habituellement par l'intermédiaire d'acides ou de bases, qui jouent le rôle de catalyseurs (Aissaoui 2013).

b. Dégradation par les micro-organismes

La biodégradation représente le résultat final d'un ensemble de processus dynamiques qui sont impliqués dans la destruction biologique de composés organiques par les micro-organismes contenus dans le milieu souterrain. Les microorganismes contribuent à l'atténuation du polluant par un ensemble de mécanismes comme la minéralisation, le métabolisme, la détoxification, l'activation et le désamorçage (Aissaoui 2013).

c. Dégradation par les plantes

Lorsque des végétaux sont mis en présence d'un milieu nutritif renfermant une certaine quantité de polluants, on observe une absorption du contaminant par les racines qui se produit assez rapidement. Une fois absorbé, le polluant peut subir des transformations sous l'influence du métabolisme de la plante hôte, ce qui retarde sa migration vers les eaux souterraines (Aissaoui 2013).

I.7. Généralité sur les fosses septiques

La fosse septique est l'un des éléments constitutifs d'une installation d'assainissement non collectif. Elle reçoit uniquement les eaux-vannes (sanitaires). Quand elle reçoit l'ensemble des eaux vannes et des eaux ménagères (cuisine, lavage), on lui préfère alors l'appellation de fosse toutes eaux. L'apport d'eaux pluviales est proscrit dans les deux cas, car il entraîne le dysfonctionnement de l'installation (effet de dilution des effluents).

Les fosses septiques assurent la liquéfaction partielle des matières polluantes concentrées dans les eaux usées ainsi que la rétention des matières solides et des déchets flottants.

I.7.1. Construction d'une fosse septique (collective)

a. Matériau

Pour les fosses septiques domestiques, le fond est généralement en béton et les parois en brique ou en pierre rendue étanche au ciment. Si le sol est meuble, un béton armé pour le fond permet une plus grande résistance.

Le couvercle est en béton capable de résister aux charges et dispose de plusieurs ouvertures ou plaques amovibles.

Il existe également dans le commerce toute une gamme de fosses préfabriquées, en ciment, en plastique ou autre. Les couvercles en plastique sont renforcés par de la fibre de verre. Tous ces systèmes brevetés sont des fosses domestiques. Les installateurs de fosses préfabriquées recommandent de poser la fosse sur un lit de 30 cm de sable tassé (RFEA).

b. Taille minimale

Dans la fosse, les boues tombent dans le fond et l'écume surnage. La hauteur d'eau minimale dans la fosse ne doit pas être inférieure à un mètre. La hauteur complète minimale est d'un mètre cinquante.

La largeur minimale d'une fosse est 60 cm. Les fosses les plus petites font 1 m³, les plus grandes 100 m³ (RFEA).

c. Arrivée

Les eaux usées ne doivent pas perturber les boues en décantation. Pour éviter les remous en entrée, on utilise des tuyaux de drainage de grand diamètre (au moins 100 mm) avec une faible pente (0,5 %) à l'approche de la fosse. Le tuyau est terminé par un tube en T plongeant de 45 cm sous le niveau d'eau et dépassant d'au moins 15 cm ou un déflecteur inclus dans la paroi (Réf FEA).

d. Sortie

Pour les petites fosses (moins de 1,2 m de largeur), le même système de tube en T ou de déflecteur peut être utilisé. Pour les fosses les plus grandes, on utilise généralement un déversoir sur toute la largeur pour permettre un débit régulier (RFEA).

e. Compartiments

Selon la taille des fosses, elles sont d'un ou de plusieurs compartiments. Une construction courante est composée d'un premier compartiment de $2/3$ de sa longueur puis un deuxième compartiment d' $1/3$, relié au premier uniquement par la mi-hauteur, afin de ne permettre ni au dépôt du fond ni à l'écume du dessus de passer du premier vers le second. C'est la fonction siphonoïde. La largeur de la fosse est égale au tiers de sa longueur (donc le deuxième compartiment est carré).

Le moyen de liaison entre les compartiments ne doit pas perturber les boues en décantation. Les fentes de passage dans la paroi doivent donc être réparties sur la largeur. Éventuellement les entrées et sorties des compartiments sont identiques à celles de la fosse tuyau en T, déflecteur ou déversoir faisant en quelque sorte des différents compartiments autant de fosses septiques en série (**RFEA**).

f. Ventilation

La fermentation produisant des gaz, un événement doit être prévue, ceci dans le but d'engendrer un effet d'aspiration des gaz (effet Venturi). Ces gaz s'ils s'accumulent sont susceptibles d'attaquer le béton et les parties métalliques de la filière d'assainissement.

Une deuxième ouverture pour l'entrée d'air complète cette ventilation, avec un grillage en protège l'accès (**RFEA**).

g. Pente

La pente (ou radier) permet un stockage des premières boues. Le volume à stocker est plus important et plus proche de l'entrée, on prévoira donc une pente de 1 % dans le premier compartiment. Les autres compartiments auront un radier plat. Le radier du premier compartiment impose de creuser plus profond, une vidange plus régulière permet d'en limiter la profondeur (**RFEA**).

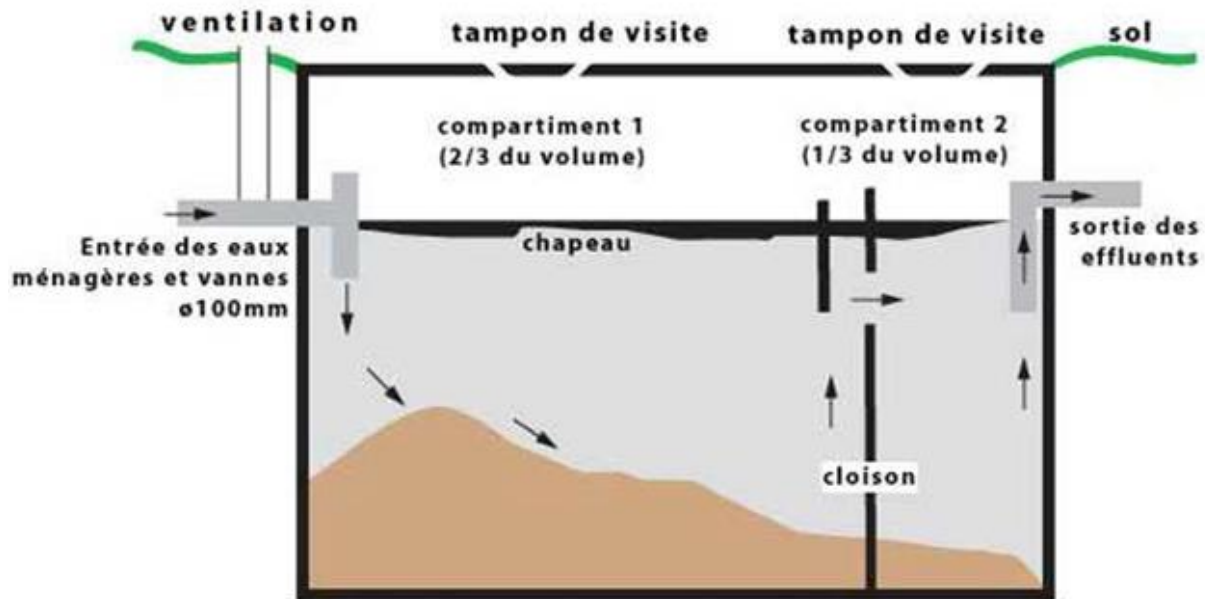


Figure 1. Schéma d'une fosse septique (source RFEA)

I.7.2. Dimensionnement d'une fosse septique

On détermine le volume d'une fosse septique en fonction du nombre d'utilisateurs, mais pour certains auteurs, le volume se base sur la surface d'une habitation plutôt que sur le nombre d'habitants car une maison ou un appartement peut changer de propriétaire. Il existe plusieurs méthodes de calcul pour déterminer le volume.

Les calculs permettent de dimensionner un volume minimal. Une fosse de plus grande capacité permet une rétention plus longue, donc une meilleure séparation. Les calculs prennent un minimum d'une journée de rétention, dans l'idéal le temps de séjour des eaux est entre 5 à 10 jours (RFEA).

Note : dans les paragraphes suivants, on note V le volume de la fosse en litres et P le nombre d'usagers potentiel.

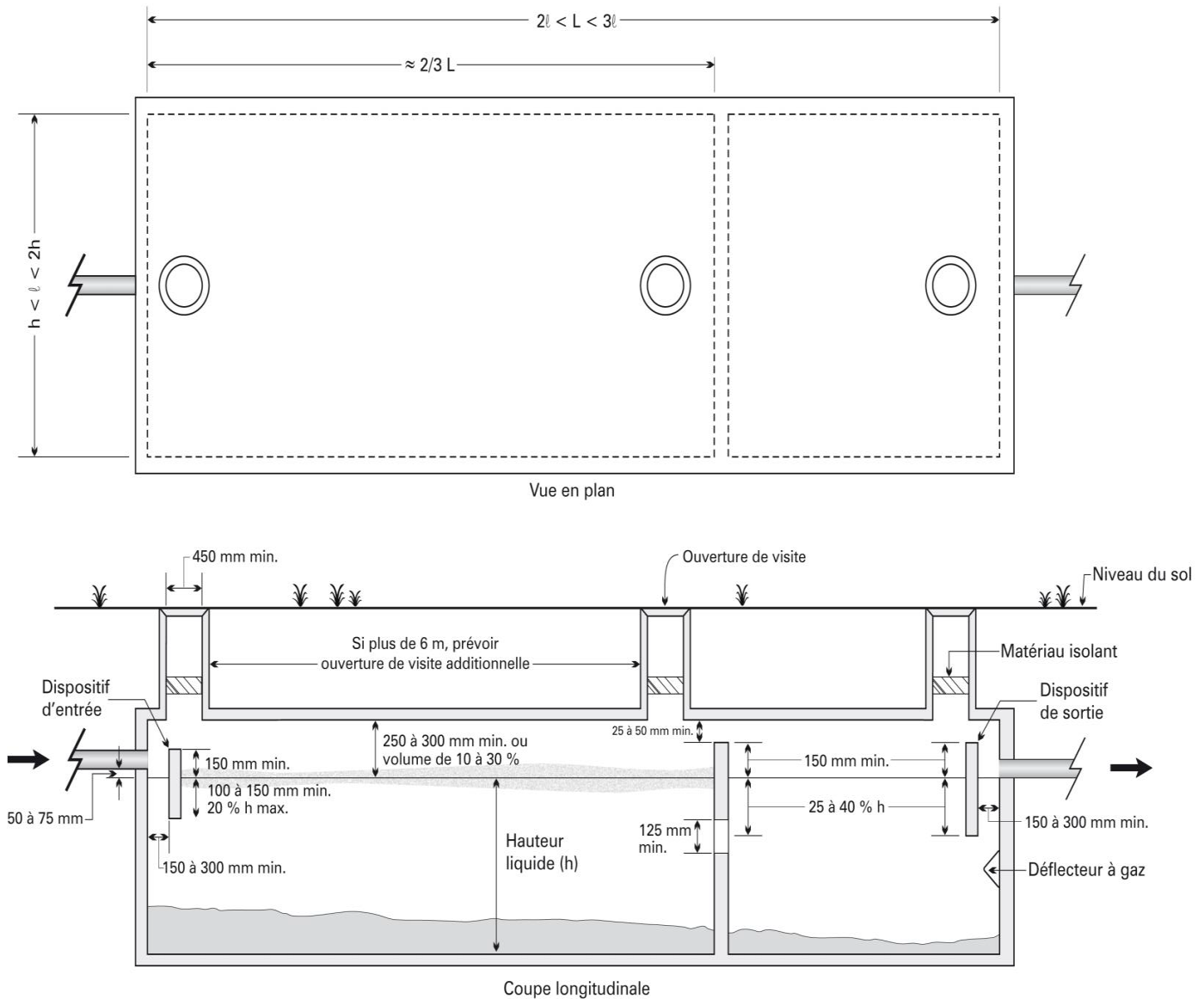


Figure 2. dimensionnement d'une coupe longitudinale de fosse septique (source : RFEA)

a. Méthode britannique

$$V = 180 \times P + 2000 \text{ (litres)}$$

Avec

V : volume de la fosse.

P : nombre d'usagers potentiel.

b. Méthode française

Le dimensionnement des fosses en France est calculé par rapport au nombre de pièces principales du domicile, à savoir 3 m³ jusqu'à 5 pièces principales, puis 1 m³ supplémentaire par chambre supplémentaire.

Pour appliquer ce dimensionnement aux industries, le rapport retenu est de 0,2 ; c'est-à-dire que 5 ouvriers comptent comme une chambre.

c. Méthode préconisée par la Banque mondiale

Le volume doit être égal à trois fois la capacité journalière multiplié par le temps de rétention. Le temps de rétention R est variable, minimum un jour.

n note Q le volume d'eaux usées par jour et par personne, estimé à 60 L en moyenne, jusqu'à 200 L selon les pays.

D'où la formule

$$V = 3 \times P \times R \times Q$$

Avec

P : nombre de personnes utilisant la fosse

R : temps de rétention (minimum 1 jour)

Q : débit des eaux usées générées par personne par jour (l/j).

d. Prise en compte de la fréquence de vidange des boues

On estime que les boues s'accumulent en moyenne de 0,18 à 0,30 L/usager/jour selon la taille et la construction de la fosse. S'il est préconisé de vidanger les fosses chaque année, les calculs sont établis pour un minimum de 2 ans d'accumulation avec un encombrement de la fosse de moins de 50 %.

On note (A) le taux d'accumulation, (F) la fréquence (0,5 pour 2 ans).

$$V=1000 \times P \times A \times F/50 \%$$

Avec

P : nombre d'usager

A : accumulation des boues (L/usager/jour)

F : fréquence de vidange des boues

e. Méthode canadienne

Le calcul est progressif en fonction du débit.

Pour un débit $D = P \times Q$ compris entre 1 900 et 5 700 L/jour :

$$V=1500 \times D \quad (\text{litres})$$

Pour un débit compris entre 5 700 et 34 200 L/jour :

$$V=4300 + 750 \times D \quad (\text{litres})$$

Pour ces deux calculs, si la fréquence de vidange des fosses est faible, on peut ajouter un volume de stockage des boues. Par exemple pour une vidange tous les deux ans, ajouter $0,3 \times$ surface de la fosse.

I.7. 3. Les fosses septiques individuelles

Les fosses septiques individuelles sont l'une des formes les plus simples de traitement des eaux usées.

Une fosse septique individuelle comprend deux chambres reliées en série. Dans la première chambre, les solides provenant des eaux d'égout entrantes, se déposent formant une "boue", tandis que les graisses et les huiles flottent à la surface formant une couche "écume". L'effluent entre les couches d'écume et de boue passe ensuite dans la seconde chambre où se produit une sédimentation supplémentaire. Finalement, l'effluent quitte la deuxième chambre et est évacué dans un drain où peut être percolé dans le sol.

La boue de la cuve subit une digestion anaérobie et se transforme en composés organiques plus stables et en gaz, tels que le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'hydrogène sulfuré (H_2S). Les fosses septiques individuelles sont habituellement conçues pour un temps de rétention de 24 heures. Une capacité de stockage suffisante est fournie pour que les résidus d'écume et de boue puissent être déposés dans le réservoir pendant deux ans, après quoi il doit être démonté pour maintenir le fonctionnement du réservoir satisfaisant.

Les fosses septiques individuelles sont adaptées aux bâtiments individuels ou avec une équivalence de population (PE) jusqu'à 150. Elles sont installées là où il n'y a pas de systèmes d'égouts et où les rejets d'effluents ne nuisent pas à l'environnement. C'est une solution peu coûteuse pour minimiser la pollution des eaux usées, par ce que ne traitent que partiellement les eaux usées, et le problème d'odeur et de dégradation de milieu récepteur reste toujours posé.

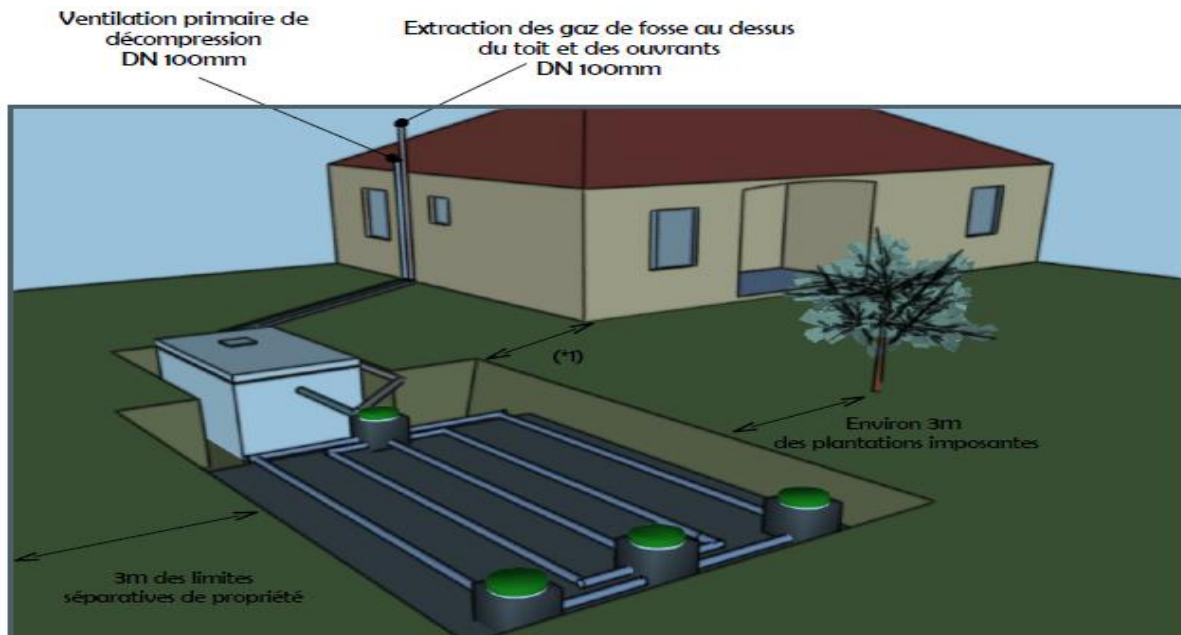


Figure 3. Installation composée d'une fosse septique et d'un lit filtrant (source RFEA)

I.7.4. Entretien de la fosse septique

La fosse septique accumule des boues et des matières flottantes de façon continue.

Il est donc nécessaire de les vidanger avant que le niveau ne puisse atteindre et obstruer les dispositifs d'entrée et de sortie. Il est couramment admis un intervalle de vidange de deux ans minimum à cinq ans maximum. La vitesse d'accumulation des boues varie notablement selon le mode de vie et le comportement alimentaire des habitants (**Frances, Pickford et Reed 1995**).

Chapitre II

PRESENTATION

DE LA

ZONE D'ÉTUDE

II.1. Contexte géographique

La zone d'étude fait partie de la plaine d'El-Khmis, aussi appelée la plaine alluviale du Haut Chélif, limitée au Nord par le massif du Zaccar, au Sud par les premiers reliefs du l'Ouarsenis, à l'Est par le seuil de Djendel et à l'Ouest par le seuil de Doui

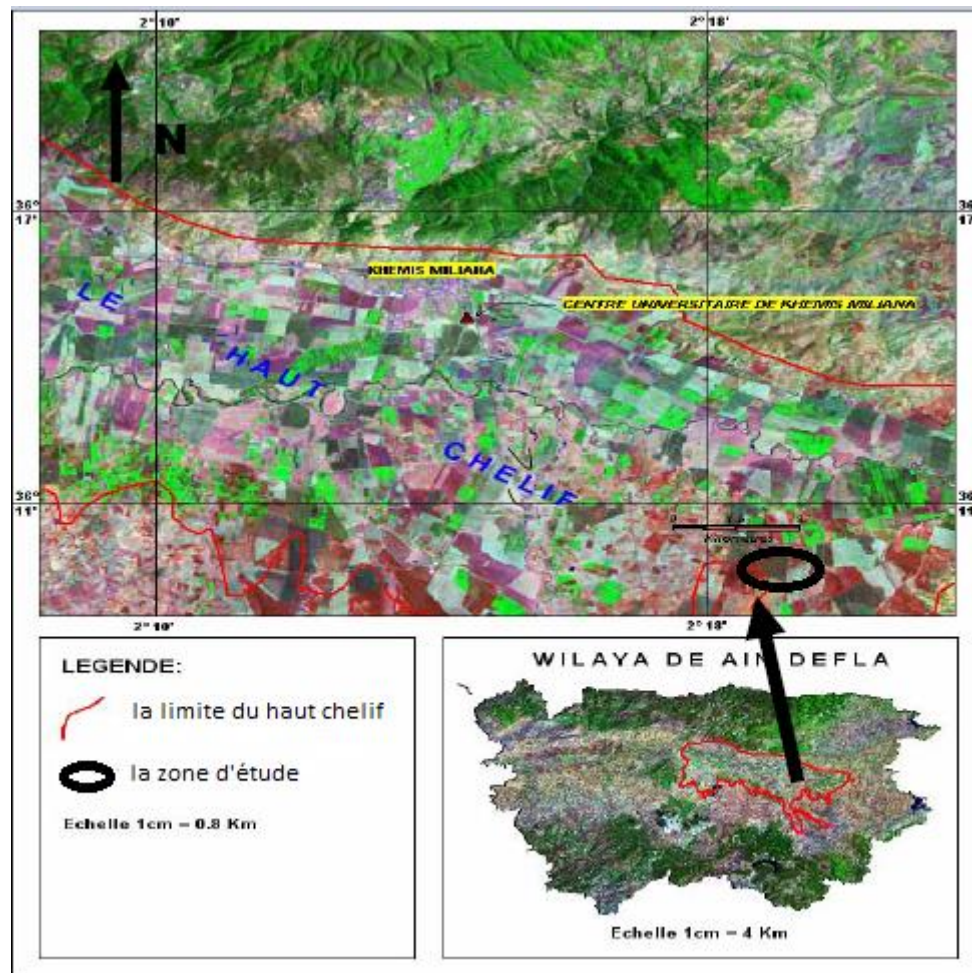


Figure 4. Situation de la région d'étude sous une image satellitaire (Juin 2004)

Notre zone d'étude est située au territoire de la commune d'Ain Sultan et plus précisément au niveau de la fraction d'Ouled Belgacem (35 km au Sud-est de chef lieu de la commune Khemis Miliana).



Extrait de la carte topo

Figure 5. Carte de situation de secteur d'étude, (ANRH khemise miliana).

II.2. Contexte climatologique

Le bassin de Cheliff dont la plaine d'EL-Khemis fait partie, est soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude. De ce fait, il présente un climat semi-aride, de type méditerranéen. Il est caractérisé par un hiver tiède, pluvieux et un été chaud et sec

(Ikhlef 2006). En effet l'étude du climat d'une région est basée essentiellement sur l'évolution de la température et des précipitations, du fait qu'elles constituent les facteurs importants, mais cela n'exclue pas l'influence d'autres composants comme les vents, les gelées et la neige,

La station la plus proche du secteur d'étude que nous disposons est celle du barrage Harraza. Nous disposons une série d'observation allant de 1986 à 2016.

II.2.1. Température

Les données de température annuelle durant la période allant de 1986 -2016 sont présentées dans (figure 6)

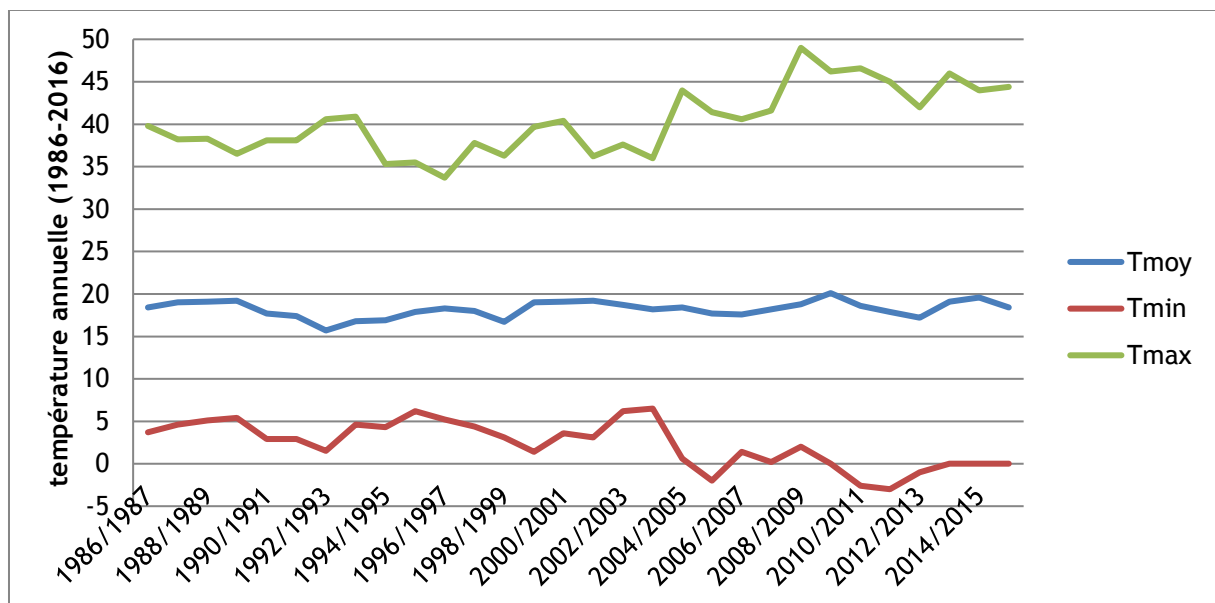


Figure 6. Variation des température annuelle à la station du barrage Harraza (période de 1986 à 2016, ANRH-Blida)

On constate d'après le tableau (l'Annexe 1) montre que la température moyenne augmente de Février à Août et diminue de Septembre à Janvier. Le mois d'Août est le plus chaud (29.68°C) alors que le mois de Janvier est le plus froid (9.52 °C)

II.2.2. Précipitation

II.2.2.1. Précipitations moyennes mensuelles

Les données pluviométriques mensuelles sont présentées dans la figure (07), à partir du tableau (l'Annexe 01).

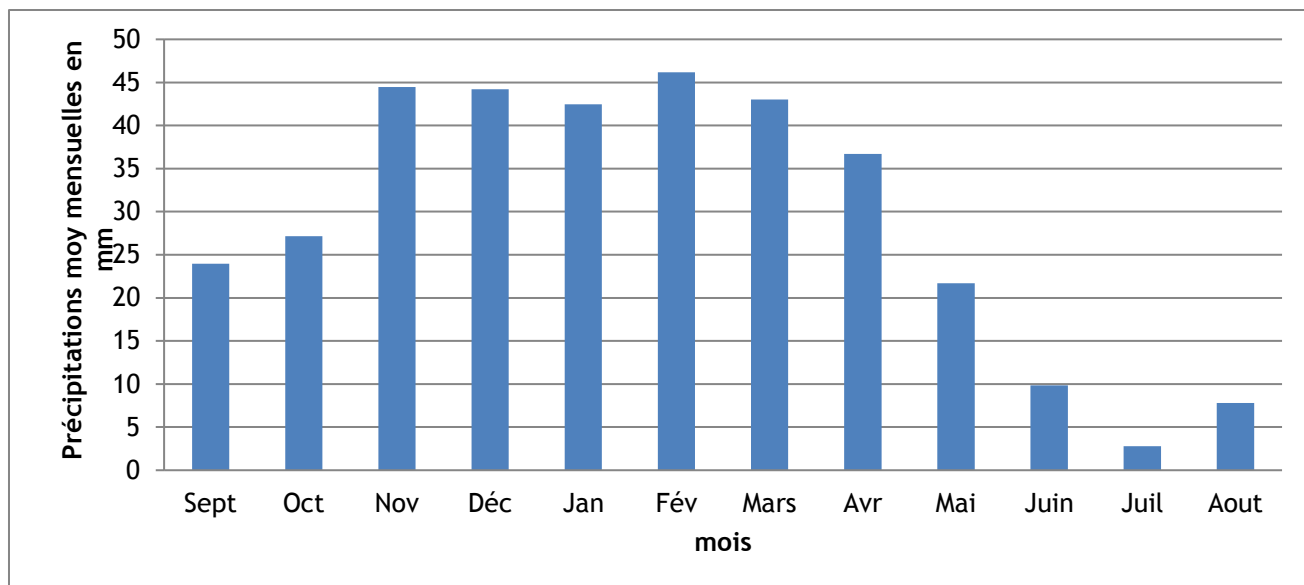


Figure 07. Variation des précipitations mensuelles dans la station du barrage harraza (1986-2016).

D'après la figure (07), nous remarquons que le mois le plus pluvieux correspond au mois de Février avec une valeur de 46.16 mm et le mois le plus sec est juillet avec une précipitation moyenne de 2.78 mm.

II.2.2.2. Précipitations moyennes annuelles

Les données pluviométriques annuelles durant la période allant de 1986-2016 sont présentées dans (l'Annexe 01).

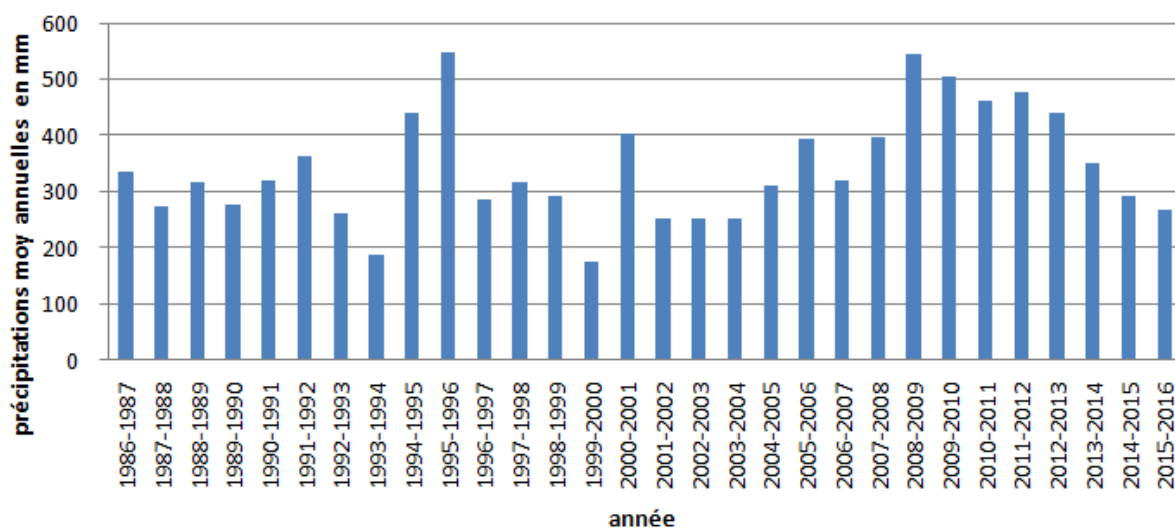


Figure 8. Précipitations moyennes annuelles (station du barrage Harraza 1986/2016)

Les précipitations moyennes annuelles de la station du barrage Harraza pour la période (1986/2016) montre que l'année la plus pluvieuse est celle de 1996 avec 547.1 mm et la plus sèche correspond à l'année 2000 avec une précipitation annuelle de 176.6 mm.

L'analyse de la série montre aussi une nette variation de pluviométrie, avec des périodes sèches et autres humides.

II.2.3. Vent

Le vent est un déplacement de masses d'air qui tente de rétablir le déséquilibre gazeux entre les zones d'air chauds et d'air froids. Ce déséquilibre est occasionné par la différence spatiale et le jeu température-pression (OFEFP 2004).

À la suite de l'analyse des mesures recueillies au niveau de la station du barrage Harraza (figure 8), on voit que le vent est très irrégulier d'un mois à un autre, avec un pic au mois de Février (une moyenne près de 4 Km/h).

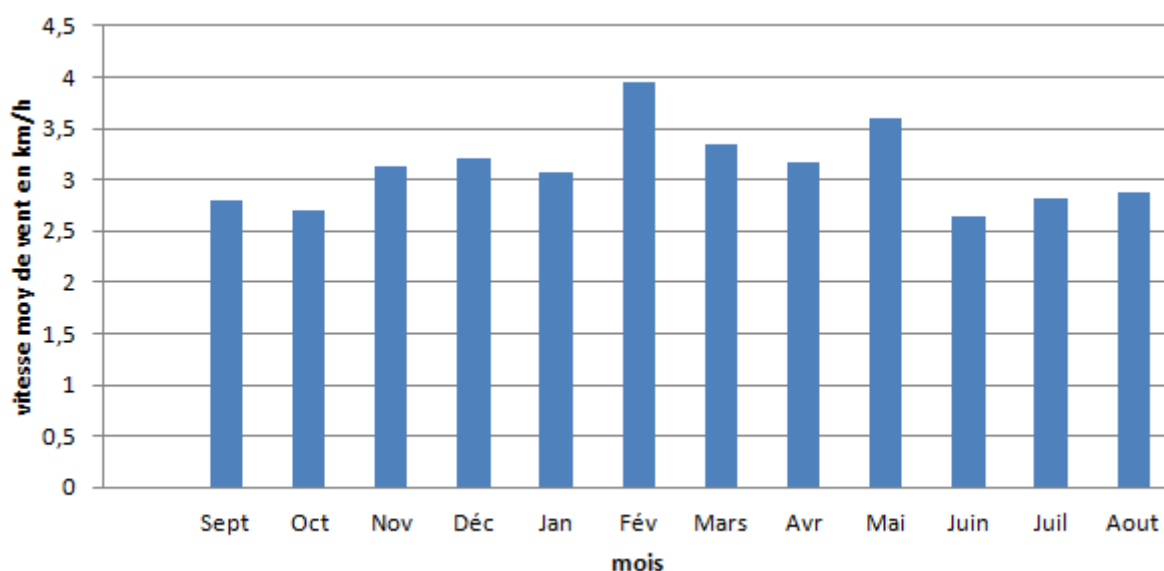


Figure 9. Évolution des moyennes mensuelles de la vitesse des vents (1986 à 2016) (ANRH Blida, 2017)

II.2.4. Humidité

Les humidités mensuelles relatives à l'air de la plaine d'El Khemis au cours de l'année dépassent parfois les 50 %. Elles commencent à augmenter à partir du mois d'Août jusqu'au mois de Janvier ; et elles chutent à partir du mois de Février jusqu'au mois de Juillet.

La valeur maximale d'humidité relative à l'air est atteinte pendant la période hivernale avec 78,85 % en Janvier, alors que la plus basse valeur s'observe durant la période estivale, en Juillet avec 47,72 % (**Rouabah 2008**).

II. 3. Pédologie

Les sols de la plaine atteignent une dizaine de mètres d'épaisseur. D'après les données pédologiques (consistance des sols), nous avons relevé des sols constitués d'alluvions sableuses, très perméables .

- Des alluvions limoneuses à argileuses du quaternaire .
- Des terrasses anciennes, rougeâtres dont les horizons profonds .
- Calcaires du Miocène .
- Des grès, poudings et cailloutis à galets quartzeux mi-pliocène.
- Des schistes gris ou brunâtres noduleux avec petits bancs quartzeux du crétacé.

II.4. Contexte géologique

Du point de vue géologique, la zone d'étude est constituée par :

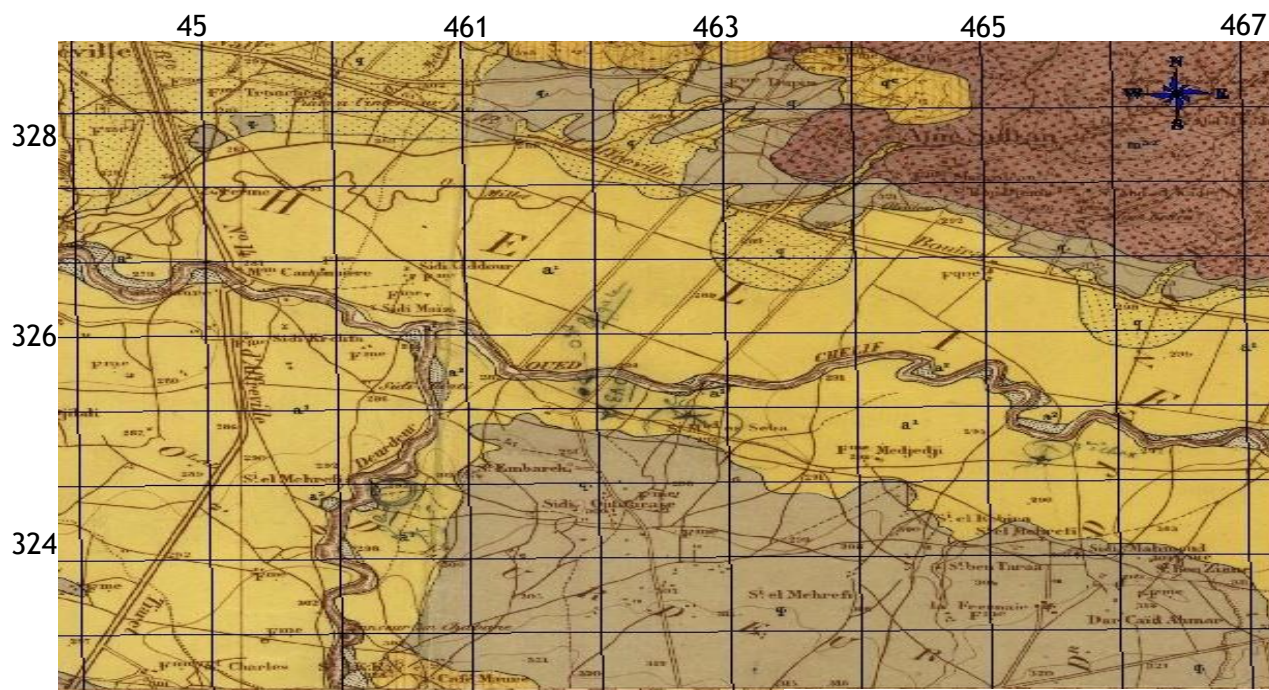
II.4.1. Les terres anté-miocènes

- a. **Le Primaire**, Il affleure à l'ouest du Doui et au nord du Zaccar, il est constitué de schistes, schistes argileux, poudingues et quartzites.
- b. **Le Trias**, Généralement formé de dolomies, calcaires dolomitiques .Il affleure dans le massif de Zaccar et Doui.
- c. **Jurassique**, Formé de calcaires massifs, de schistes gréseux et de marnocalcaires, affleurant essentiellement au Doui et au Zaccar.
- d. **Crétacé**, Affleure sur les bordures latérales et représenté par les formations suivantes:
 - les argiles schisteuses du Néocomien.
 - Les faciès flysch de l'Albien.
 - Les marnes et les bancs de calcaires et marnes du Sénonien.

II.4.2. Les terres poste-miocènes

Ils affleurent particulièrement dans la plaine d'El-Khemis comme suivant:

- a. **Miocène inférieure**, Il est constitué à la base par des conglomérats du Burdigalien, et se termine par des marnes carteniennes.
- b. **Miocène supérieure**, Il est généralement constitué de marne bleue et de lentilles sableuses.
- c. **Pliocène**, Cette formation affleure largement à l'ouest de la plaine et dans la région de Sidi Lakhdar et des Arrib, il est matérialisée par les alluvions anciennes de la plaine du Haut Cheliff et l'accumulation des grés et des conglomérats, ce sont à galets quartzeux, gréseux, et argileux.
- d. **Quaternaire**, Il est subdivisé en deux : Quaternaire ancien et récent
 1. **Le quaternaire ancien**, Il est formé de deux niveaux, représentés de bas en haut par des argiles graveleuses brunes généralement mieux cimentées que les terrains supérieurs terrassés dominant plus de 20 mètres.
 2. **Le quaternaire récent**, Il est représenté par des limons bruns et des argiles ayant 10 à 20 mètres d'épaisseur, ils sont rencontrés au pied du massif de Zaccar et au Sud Ouest de Doui .Un niveau d'argile bleu d'une importante épaisseur a été mis en évidence dans la zone des Arrib au Nord Ouest de la Vallée.



Extrait de la carte géo

Figure 10. Carte géologique de la région d'Ouled Belgacem .Miliana n°84(ANRH khemise miliana).

II.5. Contexte hydrogéologique

L'étude géologique permet de mettre en évidence trois formations susceptibles d'être aquifères, il s'agit :

- Des formations calcaires fissurés du Jurassique ;
- Des grès, poudingues et sables du Miocène ;
- Des dépôts alluvionnaires du Quaternaires.

a. Les calcaires jurassiques, constituent un important réservoir qui se particularise par la présence de fissures qui favorisent la circulation et le stockage de l'eau souterraine.

b. L'aquifère du Miocène, se sont des conglomérats plus ou moins argileux et sableux. Les grès du miocène affleurent le long de la limite Sud-Est de la vallée, au niveau d'AinLechiekh, et au Nord de la ville de djendel (Grès de Gontas).

c. L'aquifère des alluvions quaternaire, Lors de l'examen des données de forages, on s'est aperçu de l'importante épaisseur des formations quaternaires (sables, graviers ou grès), qui

varie de quelques mètres à plus de 150 m, ce qui fait que cet aquifère est considéré comme étant le plus volumineux et le plus intéressant dans la région.

II.5.2. alimentation de l'aquifère alluvionnaires

L'alimentation de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Khemis est assurée par les eaux d'infiltration des précipitations tombant sur la plaine, des eaux de ruissellement des cours d'eaux, et de l'excès des eaux d'irrigation.

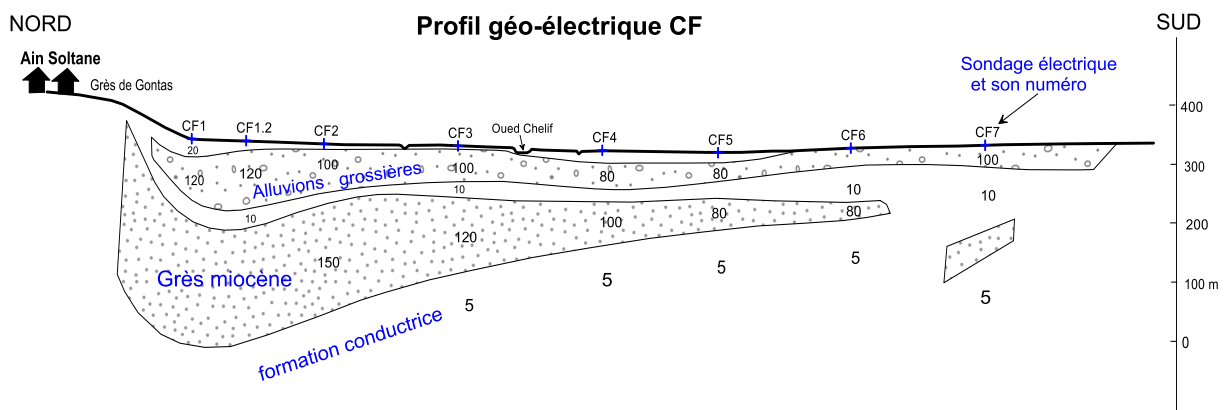


Figure 11. profil géo-électrique dans la zone d'étude

II.6. Conclusion

A l'issue de ce chapitre ; nous pouvons dire que notre zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride doté d'une période douce et humide (hiver) et d'un été chaud et sec (été) où l'évaporation est intense avec des températures moyennes pouvant dépassées les 30°C.

L'examen de l'échelle stratigraphique, a permis de définir les formations susceptibles d'être aquifères qui sont entre autres

- Les calcaires jurassiques des massifs, intensément fissurés et karstifiés,
- Les formations conglomératiques et gréseuses du miocène,

Les formations alluvionnaires du quaternaire (alluvions fines en surface, alluvions grossières en profondeur).

Chapitre III

MATÉRIELS

ET

MÉTHODES

III.1.Introduction

Le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la Composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ).

Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface. Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physicochimique des eaux souterraines. On observe principalement deux types d'influence :

- En agriculture : apports de K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ et PO_4^{3-}
 - Rejets des eaux usées : apports de Na^+ , K^+ , NO_3^- , Cl^- et quelques métaux lourds.
- Notre étude a porté sur l'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux des puits de ouled Belkacem.

L'étude de la qualité des eaux des puits comporte trois étapes

- Prélèvements, échantillonnages ;
- Analyses ;
- Interprétations.

III.2.Méthodes d'acquisition des données

III.2.1.Echantillonnage

Notre étude a été réalisée pendant la période hivernale et printanière 2017, où 33 points de prélèvements ont été choisis au niveau de la zone d'étude, repartis sur un profil Sud – Nord, le long de la direction d'écoulement des eaux souterraines. Les puits échantillonnés sont situés généralement à proximité des fosses septiques (distance moins de 20 m) avec des zones non-saturées variables.

III.2.2.Modes de Prélèvements

Dans tous les prélèvements les démarches suivantes ont été respectées

a-pour l'analyse chimique

Les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles en P.E.T (Poly Éthylène)

Les bouteilles sont rincées plusieurs fois avec l'eau à analyser puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air.

Sur chaque bouteille il faut mentionner le numéro de puits de prélèvement et noter dans une fiche la date le lieu de prélèvement de l'échantillon.

b- pour l'analyse bactériologique

Les échantillons ont été prélevés dans des flacons en verre de 250 ml stérilisés.

Selon le lieu de prélèvement, il faut procéder avant prélèvement, comme suit :

- Eau du robinet : Laisser couler l'eau froide du robinet de consommation principal à fort débit, pendant au moins cinq (5) minutes.
- Eau de puits avec pompe : Pompez environ cinq (5) seaux d'eau

Les procédures d'échantillonnage pour l'analyse bactériologique sont :

- ✓ Le flacon est déjà stérilisé, donc il est important de ne pas le rincer ;
- ✓ Avant d'effectuer le prélèvement de l'eau, il est recommandé de laver les mains ;
- ✓ Afin de préserver la stérilité du contenant, ouvrez celui-ci seulement au moment du prélèvement ;
- ✓ Pour ne pas contaminer le contenant, évitez de toucher l'intérieur du contenant ou du bouchon avec les doigts ;
- ✓ Fermer le flacon hermétiquement avec le bouchon ;
- ✓ Gardez l'échantillon au frais en le déposant dans la boîte isolante immédiatement après le prélèvement, et conservez-le au réfrigérateur jusqu'au moment de son envoi au laboratoire.
- ✓ Les contenants doivent parvenir au laboratoire dans les 24 heures suivant le prélèvement.

III.2.3.Mesure in situ

Au niveau des 33 puits privés qu'ont été localisées géographiquement les coordonnées par un GPS, nous avons mesuré à l'aide d'un appareil multi-paramètre portatif la température, le pH et la conductivité électrique, L'oxygène dissous et TDS

III.3. Les analyses

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de DRE AIN DEFLA

III.3.1. Paramètres physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques ont porté sur les ions les plus courants et les plus abondants dans les eaux souterraines. Il s'agit de quatre cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et trois anions (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}) (Annexe 2)

Les techniques d'analyses utilisées sont celles décrites par **(Rodier et al.2009)**.

La dureté ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) a été dosée par titrage. Le calcium, le magnésium, les chlorures et les bicarbonates ont été analysés par dosage volumétrique. Les sulfates, le sodium et le potassium ont été analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique et à flamme (Annexe 2).

III.3.2. Paramètres bactériologiques

Quatre paramètres bactériologiques ont été analysés: Les germes totaux sont obtenus par la méthode d'ensemencement dans le milieu liquide, les coliformes totaux, fécaux et streptocoque fécaux sont analysés par la méthode de filtration à membrane. (Annexe 3)

III.4. Méthodes d'évaluations de la qualité des eaux

III.4.1. Balance ionique

Quelle que soit la méthode utilisée, le laboratoire d'analyses d'eau donne des résultats bruts. Ainsi, les résultats de l'analyse comportent toujours, en dépit des précautions prises par l'opérateur, une certaine marge d'incertitude.

Avant d'interpréter les valeurs obtenues au cours des mesures, il convient d'analyser la fiabilité des dosages effectués. La méthode utilisée est appelée balance ionique.

La balance ionique (différence entre les charges positives et négatives) permet de définir les analyses chimiques correctes. Il faut rappeler qu'en théorie, lors du dosage d'une eau, la somme (en équivalent chimique) des charges cationiques devrait être égale à celle des charges anioniques (en équivalent-chimique).

En pratique, cette égalité n'est presque jamais obtenue. De façon générale, la différence est attribuée à la présence de certains ions non dosés ou à des erreurs d'analyse. Une

balance ionique < 0 traduit un excès d'anions, et une balance ionique > 0 traduit un excès de cations. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise.

pour le calcul de l'erreur de la balance ionique, en prenant le rapport entre la somme des cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et la somme des anions (Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) Pour chaque échantillon d'eau, doit être dans la gamme d'acceptabilité ($\pm 5\%$) utilisée dans la plupart des laboratoires (Touhari 2015).

$$BI(\%) = \frac{\sum cation - \sum anion}{\sum cation + \sum anion} * 100$$

La somme des cations ($\Sigma r+$) et des anions ($\Sigma r-$) est exprimée en meq/l.

D'une manière générale, les analyses chimiques sont considérées

- Excellentes lorsque $BI < 5\%$;
- Acceptable lorsque $5\% < BI < 10\%$;
- Douteuse lorsque $BI > 10\%$;

III.4.2. Minéralisation globale

La minéralisation correspondant à la quantité de sel dissout, elle a été calculée par la somme des concentrations en mg/l des ions majeurs.

III.4.3. Faciès chimiques

Des diagrammes particuliers ont été développés pour représenter les résultats d'analyses hydrochimiques et en tirer des renseignements particuliers. L'emploi de ces diagrammes s'avère précieux, car il rend simple et directe l'interprétation d'analyses riches et difficiles à interpréter de but en blanc. Ces diagrammes toutefois n'emploient pas tous les éléments analysés et sont parfois utilisés pour un objectif spécifique (reconnaître le faciès d'une eau souterraine ou repérer des processus de salinisation par exemple) (Bettahar 2012).

III.4.3.1. Diagramme losangique de piper

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global.

Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons

la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

III.4.3.2. Diagramme semi-logarithmique Schöeller- Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff est une représentation graphique semi logarithmique qui permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux.

Sur ce diagramme, les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites.

L'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées.

Toutefois, cette visualisation des faciès hydrochimiques est moins aisée qu'avec le diagramme de Piper.

III.4.3.3. Le diagramme de Stabler

La classification des eaux consiste à comparer les quantités en réaction des cations et des anions exprimées en pourcentage (%) par rapport à la concentration totale des eaux en utilisant d'une part la formule caractéristique de Stabler et de classer séparément les anions et les cations par ordre décroissant pour déterminer les faciès chimiques et d'autre part la représentation graphique de ces éléments sur le logiciel diagrammes (Touhari 2015).

III.4.4. Indices d'Echange de Bases (I.E.B)

Au cours leur trajet souterrains, les eaux entrent en contact avec divers substances qui ont la propriété d'échanger ces ions contre ceux de l'eau. Les substances échangées peuvent être des minéraux argileux, l'hydroxyde ferrique et les substances organiques. La capacité d'échange de base varie avec la nature du minéral argileux. L'indice Chloro-Alcalin (I.C.A) ou Indice d'Echange de Bases (I.E.B), défini par Schöeller 1977, est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau.

Il est donné par l'expression suivante :

$$I.C.A = r \frac{Cl^- - (Na^+ + K^+)}{Cl^-}$$

Toutes les valeurs sont exprimées en meq/l. Cet indice définit le sens d'échanges ioniques entre l'eau et les terrains encaissants, si :

- I.C.A = 0 pas d'échanges ;
- I.C.A < 0 Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau sont échangés par Na^+ et K^+ des formations encaissantes;
- I.C.A > 0 Na^+ et K^+ de l'eau sont échangés par Ca^{2+} et Mg^{2+} des formations encaissantes.

III.4.5. Diagrammes binaires

Les espèces dissoutes et leurs relations les unes avec les autres peuvent révéler l'origine de solutés et les processus qui ont généré la composition observée de la nappe phréatique.

L'établissement des diagrammes binaires consiste à représenter sur un graphique 2D l'évolution d'un élément ou d'un rapport ionique en fonction d'un autre élément souvent supposé conservatif. Ils sont établis en utilisant la version gratuite du logiciel diagrammes

III.5. Potabilité de l'eau

L'eau potable doit obligatoirement respecter les seuils réglementaires de différents paramètres, divisés en différents groupes : les qualités organoleptiques (odeur, couleur, saveur), les éléments microbiologiques (virus, bactéries), les substances indésirables (nitrate, fluor), toxiques (chrome, plomb), les pesticides ainsi que la composition naturelle de l'eau (pH, taux de calcium,...) .

Les normes de potabilité sont l'ensemble des critères organoleptiques, physiques, chimiques, toxiques, éléments indésirables et bactériologiques que doit respecter une eau pour pouvoir être offerte à la consommation humaine.

III.5.1. Norme de potabilité des eaux de consommation

➤ Les normes de potabilité

Afin de définir avec précision une eau potable, des normes ont été établies. Elles fixent les limites à ne pas dépasser pour la plupart des éléments et indiquent si tel ou tel élément est catégoriquement interdit. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes. Mais, que leurs concentrations sont jugées suffisamment faibles pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur.

Les normes ne font que définir, à un moment donné, un niveau de risque acceptable

pour une population donnée. Elles dépendent par ailleurs des connaissances scientifiques et des techniques disponibles ; notamment dans les domaines des risques sanitaires et de l'analyse chimique. Elles peuvent donc être modifiées à tout moment en fonction des progrès réalisés (OMS 2008).

a. La norme de l'organisation mondiale de la santé (OMS)

L'organisation mondiale de la santé ou OMS a instauré quelques lignes directrices concernant la qualité requise pour que l'eau soit dite potable. Ces lignes directrices sont les références internationales qui garantissent une eau saine et donc potable (l'Annexe 4).

b. La norme algérienne

Elle est établie par le Décret exécutif n° 14-96 du 2 Jomada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 (l'Annexe 4). Ce décret a pour objet de modifier et de compléter certaines dispositions du décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

III.5.2. Dureté totale

Elle représente la somme des concentrations en cation de calcium et de magnésium et s'exprime par le titre hydrométrique (TH). L'unité du titre hydrométrique est le milliéquivalent par litre (Ou le degré français °F).

$$TH = (r [Ca^{2+}] + r [Mg^{2+}]) \times 5$$

III.6. Eau destinée à l'irrigation

Les eaux destinées à l'irrigation doivent répondre à certains critères de qualité pour minimiser les risques de salinisation des sols.

Le tableau ci-dessous présente les normes des eaux d'irrigation Algérienne et celle de l'OMS (l'Annexe 4).

III.6.1. Classification des eaux d'irrigation sur la base du SAR

La qualité des eaux destinées à l'irrigation est conditionnée principalement par la classification de deux critères : la salinité totale, et le risque d'alcalinisation des sols ou S.A.R (Sodium Absorption Ratio).

Pour déterminer l'aptitude des eaux à l'irrigation on doit calculer le SAR, qui exprime le pourcentage de sodium absorbé :

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{rCa^{2+} + rMg^{2+}}{2}}}$$

Avec :

Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} sont exprimés en méq/l.

- S1 : $SAR < 10$: eau faiblement sodique avec peu de danger d'alcalinisation des sols ;
- S2 : $10 < SAR < 18$: eau moyennement sodique provoque un danger probable ;
- S3 : $18 < SAR < 26$: eau fortement sodique, provoque un danger d'alcalinisation, il faut un drainage ou lessivage ;
- S4 : $SAR > 26$: eau très fortement sodique, présente un danger très fort, ne peut servir à l'irrigation.

III.6.2. Classification des eaux d'irrigation sur le diagramme de Riverside et wilcox

Ce diagramme est essentiellement utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. Il utilise pour cela la conductivité électrique (CE) ou la charge totale dissoute, toutes deux relatives à la salinité de l'eau, et l'indice d'adsorption du sodium (SAR en anglais) aussi appelé "pouvoir alcalisant" qui est une mesure du risque de la sodisation du sol du fait de l'irrigation. Le diagramme est découpé en quatre classes de salinité (axe des abscisses) et quatre classes de risques de sodisation (axe des ordonnées)

III.7. Conclusion

A l'issue de ce chapitre nous pouvons dire qu'un mauvais dosage ou une mauvaise conservation des échantillons peuvent fausser les résultats, donc la manipulation nécessite une minutieuse attention.

Les analyses faites au laboratoire ont été effectuées par les méthodes volumétriques et spectrophotométriques pour les paramètres chimiques et la méthode par filtration sur membrane et ensemencement dans la masse pour les paramètres bactériologiques.

L'utilisation du logiciel diagramme, il va nous permettre de déterminer les différents faciès chimiques ainsi que les relations entre les éléments chimiques pour les 33 puits.

Chapitre IV

RÉSULTATS

ET

DISCUSSIONS

IV.1. Présentation des données

Les analyses ont pour but d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau des quatre compagnes. La composition minérale des eaux dépend généralement des terrains traversés, principalement des différentes couches géologiques ainsi que la charge physico-chimique et biologique des eaux d'infiltrations.

En ce qui concerne les eaux étudiées, les analyses ont permis de révéler les résultats ci-dessous qui seront comparés aux normes Algérienne de potabilité des eaux de consommations.

Notre étude est basée sur une série des données qui concerne des campagnes de prélèvement suivantes :

Tableau 1. Les compagnes de prélèvement 2016/2017

N° de compagne	Date de prélèvement	Date de l'analyse	Nombre l'échantillon
1 ^{er} compagne	07/12/2016	08/12/2016	10
2 ^{eme} compagne	18/12/2016	19/12/2016	10
3 ^{eme} compagne	27/02/2017	28/02/2017	10
4 ^{eme} compagne	06/03/2017	07/03/2017	13

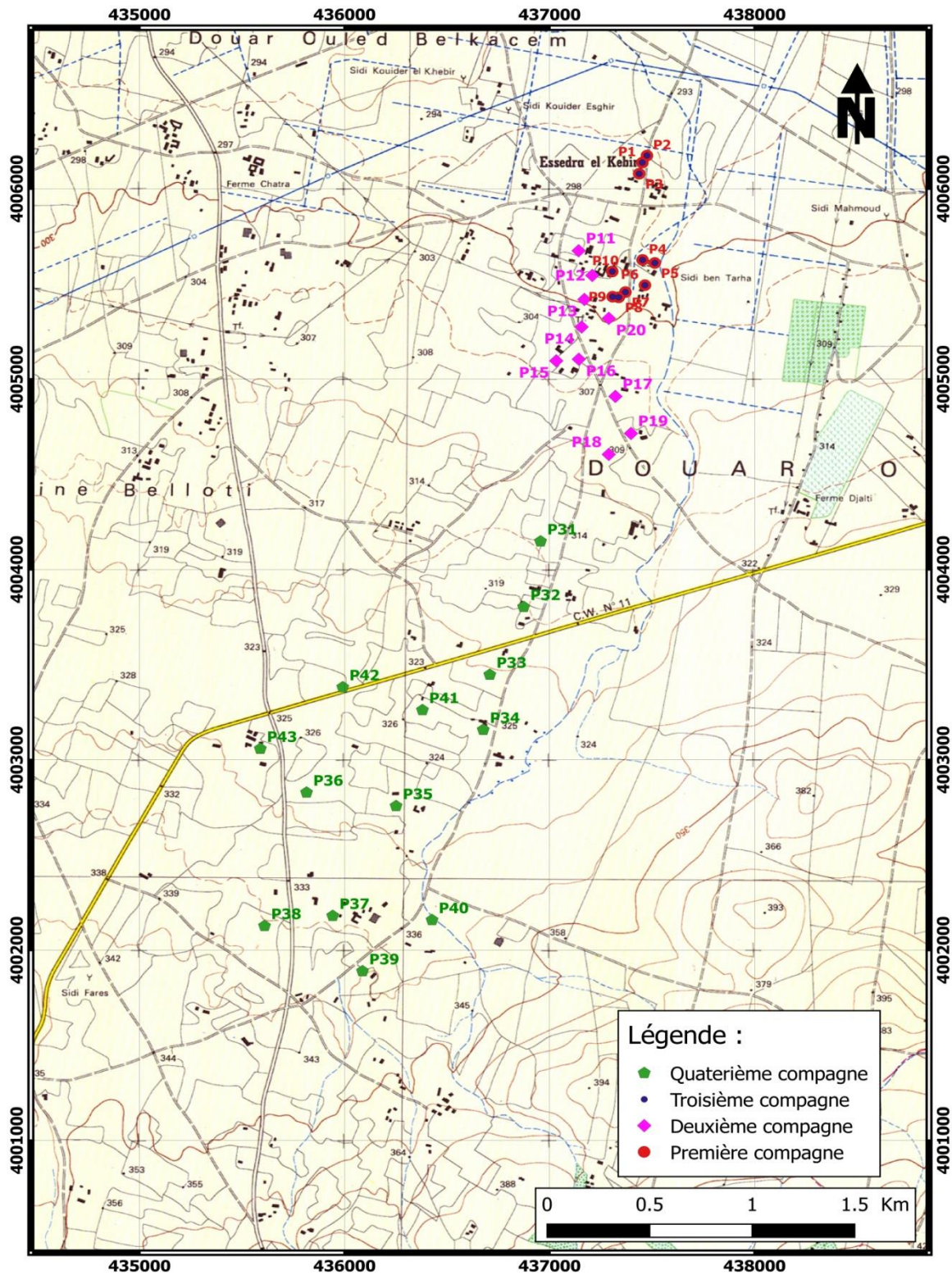


Figure 12. Situation des points d'échantillonnage

Le tableau ci-dessous représente le résultat physico-chimique pour les quatre compagnes

Tableau 2. Résultats des analyses physico-chimiques pour les quatre compagnes

Compagnes	Puits	paramètres														Balance ionique
		pH	CE	CE à 25°C	T	TDS	O ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	TH	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	
			µS/cm	µS/cm	°C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	°F	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
1^{er} compagne 07/12/2016	P1	7.39	1694	2180.178	14	1330	6.75	280	60.75	77	165	3.5	546.7	560.28	250.1	-15.9
	P2	7.03	2530	3256.11	14	1440	6.22	184	94.77	85	184.5	4.3	541.23	531.53	256.1	-9.5
	P3	7.54	2470	3025.75	16	1441	4.70	208	48.6	72	168.5	8.3	486.56	706.52	262.3	-19.6
	P4	7.48	2150	2571.4	17	1440	6.66	184	43.74	64	147.5	4.7	388.15	512.69	262.3	-14.4
	P5	7.33	2020	2415.92	17	1335	6.13	168	43.74	60	137	3.5	404.55	374.89	286.7	-12.7
	P6	7.67	1937	2359.708	17	1552	7.13	160	58.32	64	131.5	3.5	360.82	276.74	305	-5.8
	P7	7.80	1932	2204.412	19	1556	9.27	168	38.88	58	139.5	3.6	415.49	299.54	237.9	-10.4
	P8	7.59	2010	2309.49	18.7	1550	8.91	172	46.17	62	123.5	3.2	360.82	175.61	219.6	0.9
	P9	7.47	2090	2505.91	16.9	1440	6.93	188	58.32	71	132.5	3.9	382.69	310.44	244	-3.03
	P10	7.78	2000	2450	16	1441	7.08	176	48.6	64	125	3.3	486.56	315.40	256.2	-14.6
2^{eme} compagne 18/12/2016	P11	7.25	1501	2017.34	12.3	980	7.37	180	38.88	61	110.5	3.8	311.61	221.22	244	0.98
	P12	7.18	1409	1879.606	12.6	944	8.34	156	34.02	53	102.5	2.7	295.21	210.81	219.6	-3.9
	P13	7.24	1450	1969.1	11.9	950	8.89	168	26.73	53	107.5	2.1	322.53	263.35	225.7	-8.9
	P14	7.34	1563	2058.471	13.1	1019	8.90	188	38.88	63	106	2.7	333.48	175.61	244	0.3
	P15	7.34	1535	2000.105	13.5	997	8.71	172	46.17	62	101	2.8	344.42	224.19	189.1	-2.9
	P16	7.42	1594	2115.238	12.8	1052	8.50	180	46.17	64	105.5	2.5	366.28	186.52	219.6	-1.3
	P17	7.35	1685	2281.49	12	1130	8.31	212	46.17	72	101.5	3.0	382.69	321.85	225.7	-6.06

	P18	7.28	2210	3016.65	11.7	1510	8.37	252	75.33	94	142.5	2.4	617.77	262.36	201.3	-2.5
	P19	7.24	2136	2924.184	11.6	1464	7.25	268	82.62	101	127	2.7	568.56	312.43	231.8	-1.5
	P20	7.33	1603	2188.095	11.7	1079	8.48	200	48.6	70	115.5	3.2	388.15	115.63	219.6	0.3
3^{eme} compagne 27/02/2017	P1	7.27	2500	2942.5	17.7	1489	8.31	252	68.04	91	170	6.3	426.42	230.07	250.1	10.1
	P2	7.33	3750	4380	18	2260	8.49	376	99.63	135	211.5	16.8	661.50	467.77	195.2	6.9
	P3	7.26	2560	2984.96	18.1	1516	5.82	244	68.04	89	156.5	6.9	470.16	248.42	256.2	4.2
	P4	6.80	3210	3742.86	18.1	1921	8.48	372	116.64	141	152	6.1	612.30	352.76	341.6	6.8
	P5	7.29	1816	2101.112	18.4	1063	8.72	176	51.03	65	127.5	8.1	328.02	215.20	268.4	1.6
	P6	6.89	2159	2528.189	17.9	1271	8.34	236	75.33	90	149	5.4	371.75	355.99	347.7	2.1
	P7	6.93	1819	2115.497	18.2	1063	8.25	192	55.89	71	133	4.7	289.75	220.03	231.8	9.6
	P8	7.06	1876	2202.424	17.8	1108	8.76	176	48.6	64	132	4.3	344.42	195.62	231.8	2.7
	P9	6.95	2066	2419.286	17.9	1194	8.58	236	70.47	88	135	4.7	371.75	199.45	262.3	10.66
	P10	7.03	1785	2095.59	17.8	1052	8.68	168	46.17	61	136.5	7	265.94	202.56	305	4.6
4^{eme} compagne 06/03/2017	P21	7.46	2950	3407.25	18.5	1753	8.70	276	106.9	113	140.5	3.1	688.84	184.04	207.4	0.8
	P22	7.23	2820	3257.1	18.5	1661	8.68	284	77.36	108	149	2.5	579.50	193.95	219.6	1.9
	P23	7.35	2540	2926.08	18.6	1488	8.86	252	82.62	97	146.5	2.5	628.70	97.78	292.8	2.6
	P24	7.28	2870	3297.63	18.7	1683	8.66	316	92.34	117	141.5	2.7	639.64	267.81	146.7	3.8
	P25	7.31	2198	2521.782	18.6	1280	8.42	244	58.32	85	111.5	2.6	404.55	213.78	183	4.1
	P26	7.39	1962	2266.11	18.5	1139	9	244	59.03	82	88.5	2.3	493.62	109.68	146.4	4.1
	P27	7.22	3510	4015.44	18.9	2066	7.49	348	143.3	146	176	3.5	524.31	915.8	207.4	2.5
	P28	7.25	3400	3906.6	18.7	2016	7.7	452	133.6	168	105	3	836.45	61.6	134.2	16.23
	P29	7.27	3510	4043.52	18.6	2087	7.90	268	136.0	123	189.5	4.6	732.57	312.43	244	2.2
	P30	7.46	1890	2182.95	18.5	1096	8.64	200	75.33	81	103	2.6	366.28	251.45	231.8	3.1
	P31	7.37	1601	1857.16	18.3	927	8.53	188	53.46	69	74	2.5	322.55	218.79	219.6	0.8
	P32	7.24	1770	2053.2	18.3	1030	8.73	224	65.61	83	80	2.7	349.88	161.73	219.6	8.4
	P33	7.46	2770	3235.36	18	1649	9.62	288	116.6	120	144	2.8	606.83	341.18	170.8	5.1
Norme		6.5- 6.8		1500	< 25		5	200	150	200	200	12	250	200	-	

IV.2. Balances ioniques

Le contrôle de la qualité des analyses par la balance ionique a été systématiquement appliqué à toutes les analyses réalisées au laboratoire. Il en résulte que : les échantillons présentent un équilibre ionique acceptable à l'exception de quelques échantillons qui présente une balance en dehors de l'intervalle $\pm 10\%$ qui révèle un résultat médiocre. Cet écart est probablement dû à une mauvaise manipulation, et il est surtout remarqué au niveau des puits P1, P3, p4, P5, P10, P29 et P38.

IV.3. Analyses bactériologiques

Le tableau suivant représente les résultats d'analyses bactériologiques

Tableau 3. Résultats d'analyses bactériologiques

N° de campagne	Paramètres	coliformes totaux	coliformes fécaux	Streptocoques fécaux	Streptocoques totaux (colonies/100 ml)	Germes totaux (colonies/1 ml)
1^{eme} campagne 18/12/2016	1	(colonies/100 ml)	(colonies/100 ml)	(colonies/100 ml)	-	-
	2	233	62	49	-	-
	3	234	213	80	-	-
	4	213	233	50	-	-
	5	115	19	95	-	-
	6	110	216	0	-	-
	7	244	70	40	-	-
	8	245	243	80	-	-
	9	245	30	19	-	-
	10	248	215	90	-	-
2^{eme} campagne 18/12/2016	11	250	1	43	-	-
	12	245	85	60	-	-
	13	243	70	25	-	-

	14	100	95	20	-	
	15	255	100	22	-	
	16	247	10	24	-	
	17	254	45	24	-	
	18	246	222	2	-	
	19	115	232	12	-	
	20	219	217	5	-	
3^{eme} compagne 27/02/2017	1	220	219	20	-	-
	2	235	211	3	-	-
	3	244	219	1	-	-
	4	246	224	5	-	-
	5	160	100	4	-	-
	6	233	235	2	-	>1000
	7	110	50	40	-	>1000
	8	212	243	222	-	>1000
	9	215	233	12	-	>1000
	10	219	51	42	-	>1000
4^{eme} compagne 06/03/2017	21	230	35	20	-	
	22	233	214	22	-	
	23	244	221	24	-	
	24	215	218	30	-	
	25	246	235	35	-	
	26	239	221	30	-	
	27	249	226	40	-	
	28	212	236	40	-	
	29	215	231	25	-	
	30	245	222	45	-	
	31	234	232	60	-	
	32	220	212	50	-	
	33	234	219	22	-	
Normes Algériennes		00	222	227	22	10

IV.3. Statistique élémentaire

Le but des statistiques est de donner des outils et des méthodes permettant d'analyser et d'interpréter les résultats d'expériences, les paramètres statistiques utilisés ici sont la moyenne, le minimum, le maximum et l'Ecart type à travers lesquels nous allons réaliserons une première approche rapide de l'évolution spatio-temporelle de la qualité physico-chimique des eaux de la zone d'étude.

Tableau 4. Les paramètres statistiques de la qualité physico-chimique des eaux de la zone d'étude

Compagne	Paramètre	pH	CE $\mu\text{s/cm}$	T $^{\circ}\text{C}$	TDS mg/l	O ₂ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	TH $^{\circ}\text{F}$	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l
1 ^{ère} compagnes	Moyenne	7.50	2086.9	16.56	949.9	6.97	181.6	54.18	67.7	145.45	4.18	437.35	406.36	258.02
	Max.	7.8	2530	19	1014	9.27	208	94.77	85	184.5	8.3	546.7	706.52	305
	Min.	7.03	1694	14	932	4.7	160	38.88	58	123.5	3.2	360.82	175.61	219.6
	Ecart type	0.25	274.90	1.76	27.95	1.47	17.24	18.56	9.26	21.97	1.77	73.03	178.80	27.21
	Variance	0.5	16.58	1.32	5.28	1.21	4.15	4.30	3.04	4.68	1.33	8.54	13.37	5.21
2 ^{ème} compagnes	Moyenne	7.29	1668.6	12.32	1112	8.31	197.6	48.35	69.3	111.95	2.79	393.08	229.41	222.04
	Max.	7.42	2210	13.5	1510	8.9	268	82.62	101	142.5	3.8	617.77	321.85	244
	Min.	7.18	1409	11.6	944	7.25	156	26.73	53	101	2.1	295.21	115.63	189.1
	Ecart type	0.07	295.75	0.69	216.6	0.60	39.50	17.31	14.7	113.49	0.53	118.36	69.07	18.65
	Variance	0.26	17.19	0.83	14.71	0.77	6.28	4.16	3.83	10.65	0.72	10.87	8.31	4.31
3 ^{ème} compagnes	Moyenne	7.08	2354.1	17.99	1393	8.24	242.8	69.98	89.5	150.3	7.03	414.20	258.78	269.01
	Max.	7.33	3750	18.4	2260	8.76	376	116.6	141	211.5	16.8	661.5	467.77	347.7
	Min.	6.8	1785	17.7	1052	5.82	168	46.17	61	127.5	4.3	265.94	99.45	195.2
	Ecart type	0.19	719.6	0.23	444.4	1.02	78.94	24.75	29.6	28.73	4.26	141.25	118.21	52.58
	Variance	0.43	26.82	0.47	21.08	1.00	8.88	4.97	5.44	5.36	2.06	11.88	10.87	7.25
4 ^{ème} compagnes	Moyenne	7.33	2589.6	18.51	1528	8.53	275.6	92.36	107	126.84	2.87	551.82	256.15	201.79
	Max.	7.46	3510	18.9	2087	9.62	452	143.3	168	189.5	4.6	836.45	915.8	292.8
	Min.	7.22	1601	18	927	7.49	188	53.46	69	74	2.3	322.55	61.6	134.2
	Ecart type	0.09	691.12	0.25	418.8	0.63	79.65	32.89	31.4	38.61	0.71	170.65	259.57	49.51
	Variance	0.3	26.28	0.5	20.46	0.79	8.92	5.73	5.6	6.21	0.84	13.06	16.11	7.03

IV.4. Interprétation des résultats d'analyses

IV.4. 1. Paramètres physiques

1. Température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers, elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (notamment la conductivité électrique).

La température des eaux analysées varie entre 14 à 18.8 °C pour la première campagne, et entre 11.7 et 13.5 °C pour la 2^{ème} campagne. Alors que pour les autres campagnes (3 et 4) la température est presque constante et varie entre 17.7 et 19 °C.

Les faibles températures de l'eau des puits observées dans la campagne 2 sont dues aux faibles températures de l'air durant cette journée (18/12/2016) qu'a été environ 15,6°C.

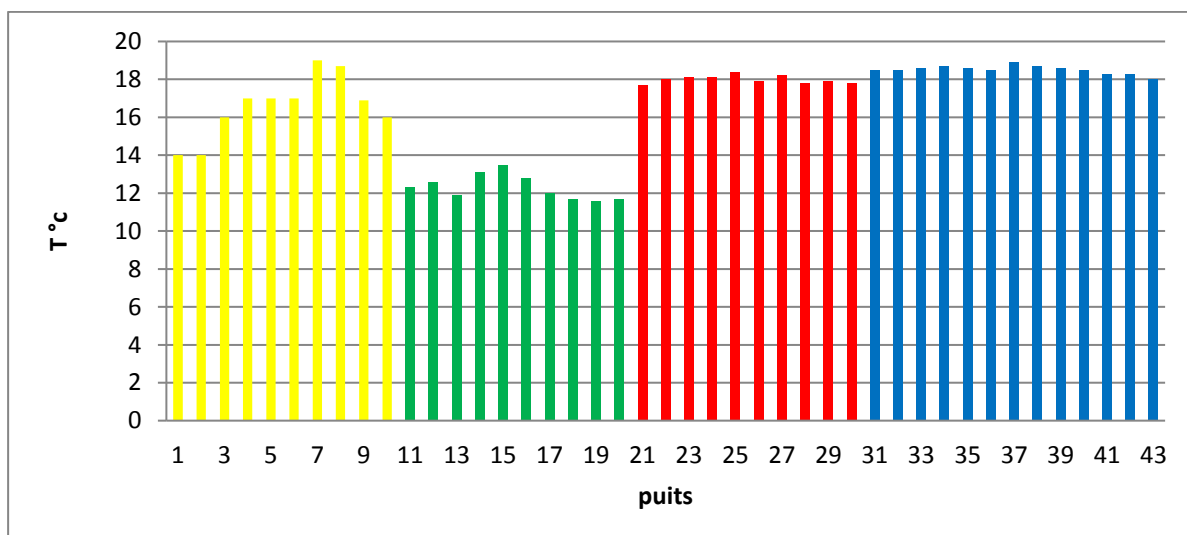


Figure 13. Variation de la température des eaux des puits dans la zone d'étude

2. Potentiel d'hydrogène (pH)

C'est l'un des paramètres le plus important pour la qualité de l'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés (**Rodier et al. 2009**).



Figure 14. Variation de pH des eaux des puits dans la zone d'étude

Le pH obtenu pour nos échantillons n'excède pas limite recommandée dans les normes Algériennes [6.5 - 8.5]. La majorité des puits montrent une qualité d'eau légèrement basique ($\text{pH} > 7$)

3. Conductivité Electrique

La conductivité électrique (CE) des eaux naturelles fournit une information globale sur la quantité des sels dissous qu'elles renferment l'eau.

Les eaux analysées présentent des valeurs comprises entre 1694 et 2530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la 1^{ère} campagne, entre 1409 et 2210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la 2^{ème} campagne, entre 1785 et 3750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la 3^{ème} campagne et entre 1601 et 3510 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cela indique que la majorité des puits ont des conductivités électriques dépassant les normes OMS (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), et ils sont en majorité dans les normes algériennes. Les fortes valeurs de la CE sont dues probablement à l'impact anthropique sur la qualité des eaux (influence des pesticides, influence des rejets urbains causé par les fosses septiques, lessivage de certains minéraux existants dans le sol, échange eau-roche, influence des eaux d'irrigation...).

La comparaison des CE de la 1^{ère} campagne (07/12/2016) avec celle de la 3^{ème} campagne (27/02/2017) montre une augmentation de la CE dans certains puits de la 3^{ème} campagne par rapport à celle de la 1^{ère}, cela est due probablement au lessivage de certains minéraux existant dans la zone non-saturé après une période pluvieuse entre le mois de décembre 2016 et février 2017.

Nous remarquons aussi que les CE de la 4^{ème} campagne effectuée dans le secteur sud de la zone d'étude, sont un peu élevées par rapport aux autres CE des autres campagnes, cela est due probablement aux faibles épaisseurs des zones non-saturées, soit dans la zone la plus sensible à la dégradation des eaux souterraines (plus vulnérable à la pollution).

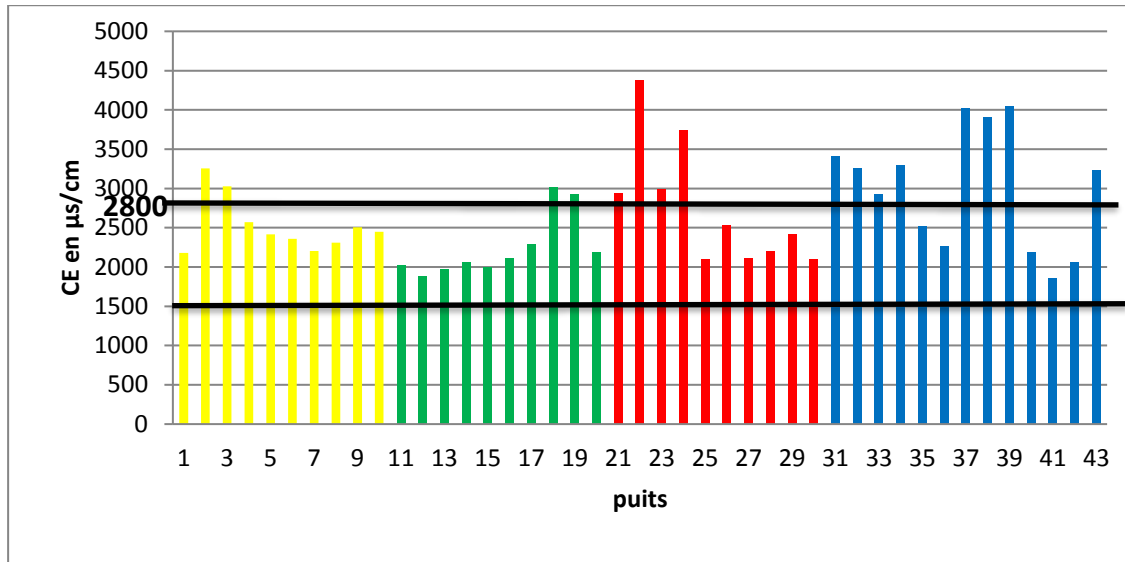


Figure 15 Variation de la CE des eaux des puits dans la zone d'étude

Tableau 6. Classification des eaux des puits sur la base de la CE (Catroll 1962 and Cherry 1979)

CE (µs/cm)	Classification	Nombre de échantillons
< 1500	Permissible	2
1500–2800	Admissible selon les normes algériennes	36
> 2800	Indésirable à la consommation	5

4. Total Dissolved Solids (TDS)

TDS représente les propriétés hydrochimiques des eaux souterraines et est utilisé souvent pour déterminer l'adéquation des eaux souterraines à des fins bien déterminé (Catroll 1962; Freeze et Cherry 1979).

Les eaux analysées ont des valeurs de TDS variant entre 932 et 1014mg/l pour 1^{er} campagne, entre 944 et 1510 mg/l pour la 2^{ème} campagne, entre 1052 et 2260 mg/l pour la 3^{ème} campagne et entre 927 et 2260 mg/l pour la 4^{ème} campagne. Ces variations sont dues probablement à influence des pesticides, influence des rejets urbains causés par les fosses septiques, lessivage de

certaines minéraux existants dans le sol. La comparaison des TDS de la 1^{ère} campagne (07/12/2016) avec celle de la 3^{ème} campagne (27/02/2017) montre une augmentation de la TDS dans certains puits de la 3^{ème} campagne par rapport à celle de la 1^{ère}, cela est les résultats d'une dilution due aux apports des précipitations entre les périodes et au temps de séjour des eaux .

Nous remarquons aussi que les TDS de la 4^{ème} campagne effectuée dans le secteur sud de la zone d'étude, sont un peu élevées par rapport aux autres TDS des autres campagnes, cela est due probablement aux faibles épaisseurs des zones non-saturées, soit dans la zone la plus sensible à la dégradation des eaux souterraines (plus vulnérable à la pollution).

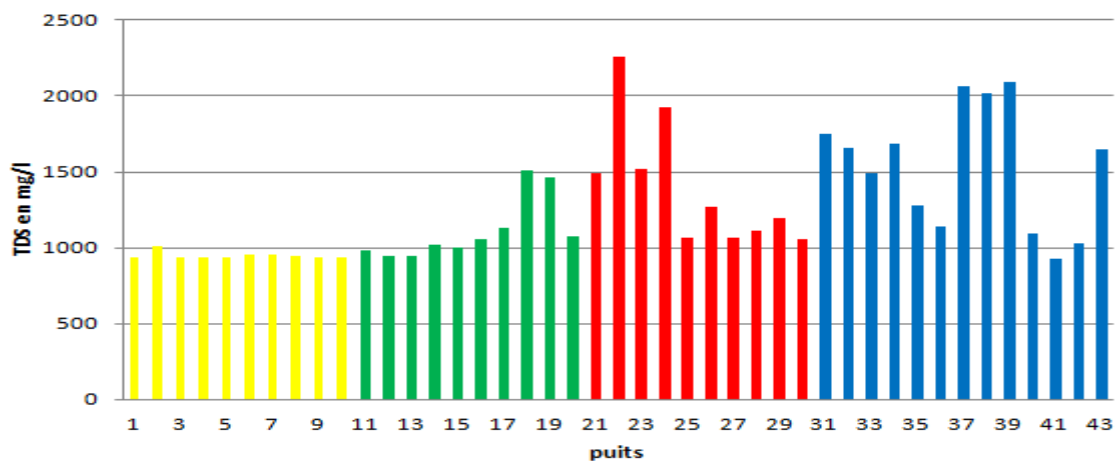


Figure 16. Variation de la TDS des eaux des puits dans la zone d'étude

Tableau 7. Classification de l'eau des puits sur la base de la TDS(DeWiest 1966)

TDS (mg/l)	Classification	Nombre d'échantillon
< 500	Désirable pour la consommation	0
500 – 1000	Acceptable pour la consommation	14
1000 – 3000	Utile seulement pour l'irrigation	29
> 3000	Inacceptable pour l'irrigation	0

5.L'oxygène dissous (O₂)

L'oxygène dissous est un paramètre écologique essentiel car sa présence dans l'eau (milieu aérobie) permet la respiration des êtres vivants aquatiques.

Pour la 1^{ère} campagne les analyses de l'échantillon donnent les valeurs entre (4.7-9.27 mg/l) et (7.25-8.90 mg/l) pour la 2^{ème} campagne, (5.82-8.76 mg/l) pour la 3^{ème} campagne et (7.49-9.62 mg/l) pour la 4^{ème} campagne. Donc, les eaux souterraines dans cette région sont dans les normes

(> 5 mg/l, pour des températures entre 15 à 25 °C), cela s'explique par le rôle qu'il joue le sol comme un moyen d'épuration des eaux usées des fosses septiques situés à proximité (pouvoir épuratoire du sol).

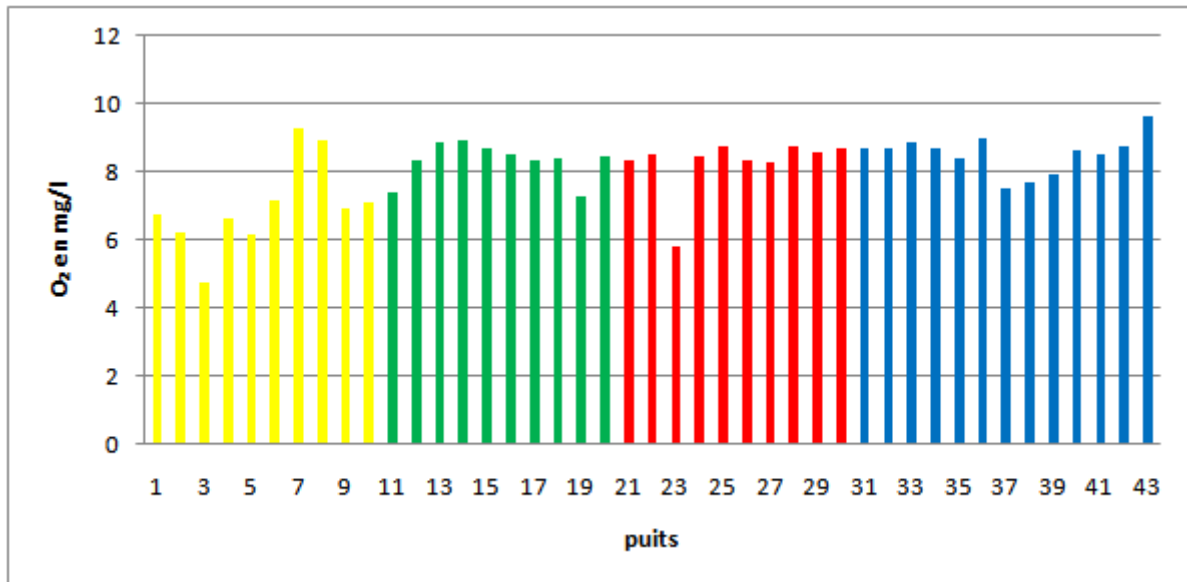


Figure 17. Variation de L'oxygène dissous des eaux des puits dans la zone d'étude

IV.4. 2.Paramètres chimiques

1. Calcium (Ca^{2+})

Le calcium soluble est celui qui se trouve ou est apporté sous forme de bicarbonate $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$, de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$, de nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ou de phosphate mono- calcique $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Toutes ces formes libèrent du calcium dans la solution du sol et participent à saturer le complexe adsorbant . La teneur maximale en calcium admise pour l'AEP est de 200 mg/l (OMS 2008).

Les données indiquées sur la (figure 18) montrent que les valeurs de Ca^{2+} variaient entre 156-268mg/l dans les 2 premières compagnes et entre 168-452 mg/l dans les autres compagnes. Le calcium peut être dérivé de l'altération des minéraux carbonatés (carapace calcaire) ou due aux infiltrations des engrais chimiques utilisés aux pratiques agricoles (Prasanna et al. 2010).

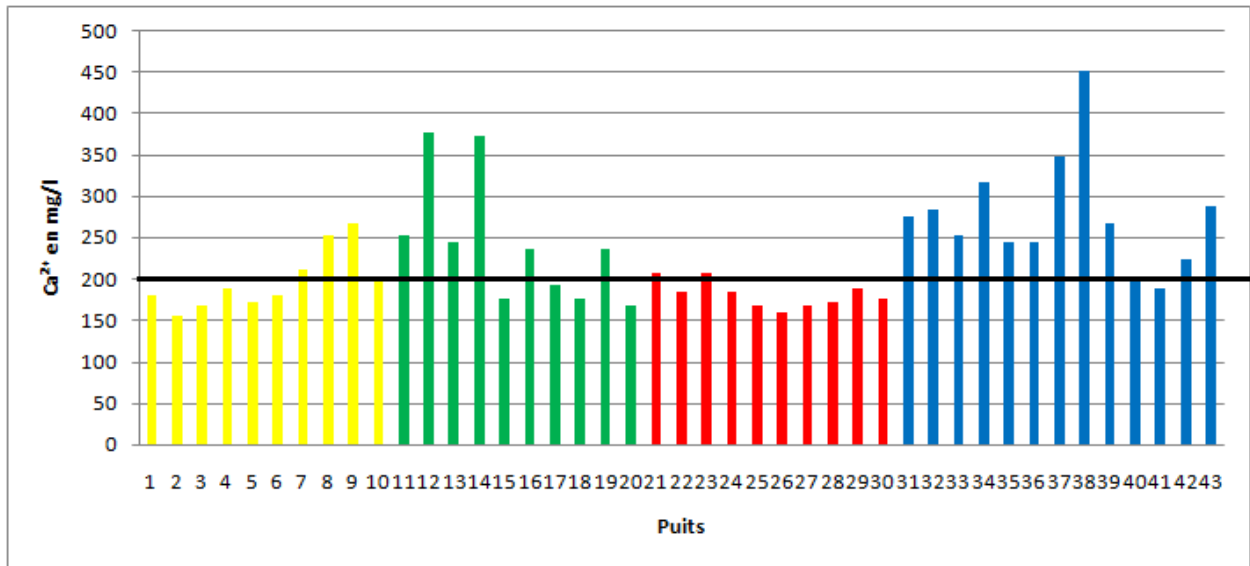


Figure 18. Variation de calcium des eaux des puits dans la zone d'étude

2. Magnésium (Mg²⁺)

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (calcaires dolomitiques, dolomies), comme il est aussi présent dans les eaux marines, (Rodier 2009) et même il est présent dans certains pesticides. La teneur maximale en magnésium admise pour l'AEP est de 150 mg/l (OMS 2008). Les concentrations obtenues au cours des analyses sont conformes aux normes OMS, avec une valeur maximale de 143.37 mg/l au niveau du puits P37.

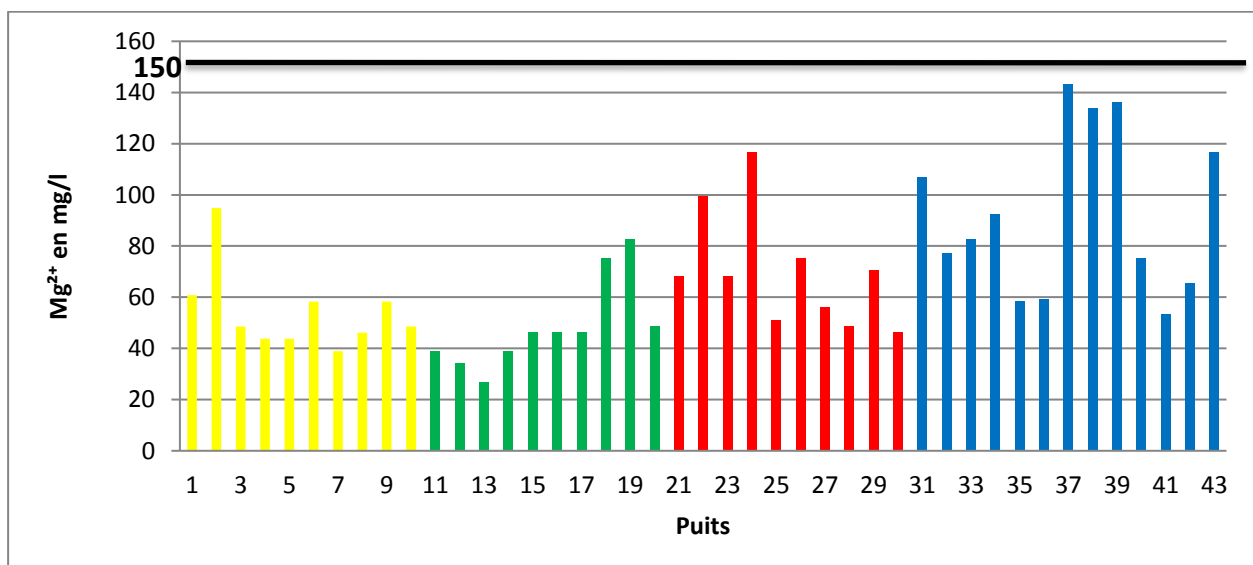


Figure 19. Variation de Magnésium des eaux des puits dans la zone d'étude

3. Dureté totale (TH)

La dureté est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium.

$$TH = (r[Ca^{2+}] + r[Mg^{2+}]) \times 5$$

La figure ci-dessous montre que la totalité des puits ont une qualité des eaux très dure, et sont mauvais pour la consommation humaine (TH > 54 °F).

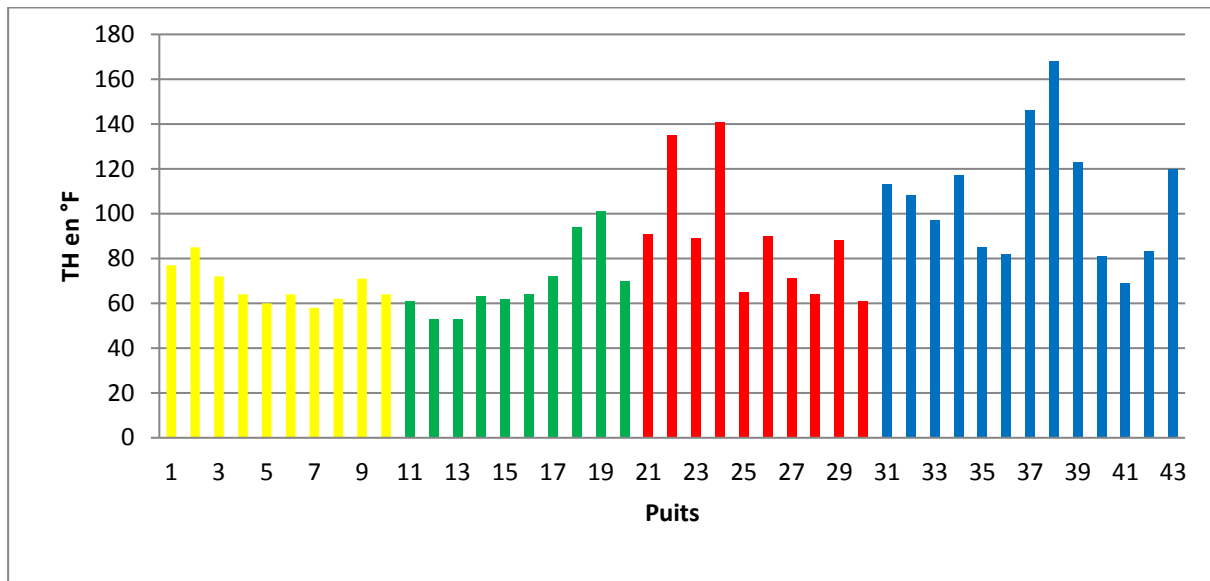


Figure 20. Variation de dureté totale des eaux des puits dans la zone d'étude

Tableau 8. Classification de l'eau des puits par la TH dans la zone d'étude (De Fulvio et oiori, 1976)

DHT (°F)	0 à 7	7 à 14	14 à 22	22 à 32	32 à 54	> 54
Dureté de l'eau	Très Douce	Douce	Modérément Douce	Assez Dure	Dure	Très dure
Usage domestique	Bonne Potabilité		Potabilité passable		Potabilité médiocre à mauvaise	

4. Sodium (Na⁺)

Les sodiums dans les eaux proviennent généralement du lessivage des formations géologiques, de la dissolution de l'halite et des eaux marines, sol salin, pesticides, déchets des animaux, et rejets des eaux usées domestiques (Annapoorna et Janardhana 2015).

Les eaux analysées montrent des concentrations en sodiums conformes aux normes à la norme OMS (200mg/l), à l'exception du puits P22 qui indique une teneur de 211.5 mg/l due probablement aux infiltrations des pesticides ou aux infiltrations des eaux usées domestiques.

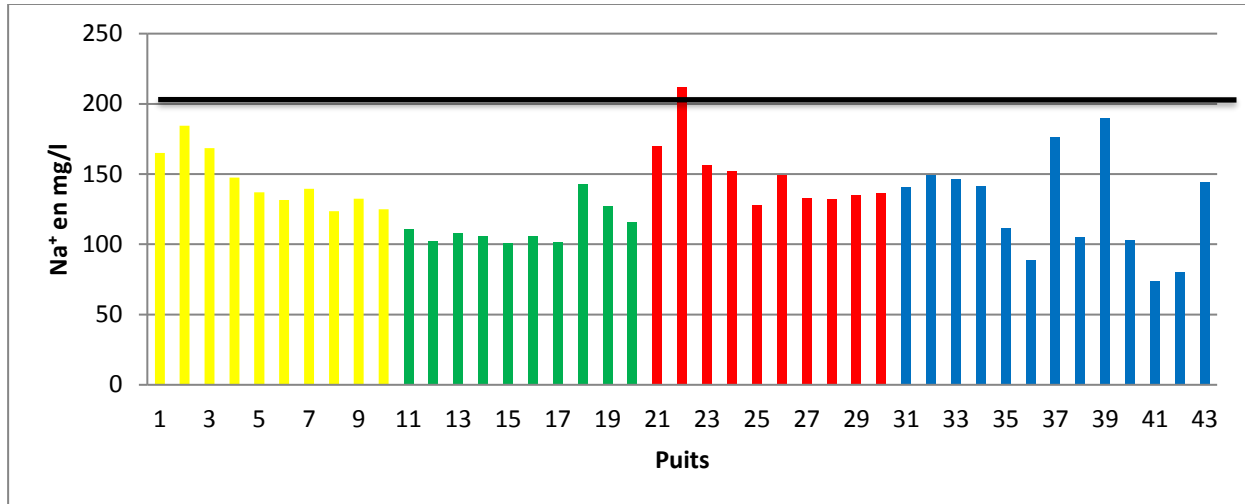


Figure 21. Variation de sodium des eaux des puits dans la zone d'étude

5. Potassium (K⁺)

Il est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins répandue dans la nature. Il est lié surtout à l'utilisation de certains engrais. La teneur en potassium autorisée pour l'AEP est seulement de 12 mg/l (OMS 2008).

Les échantillons analysés ont des proportions inférieures à 12 mg/l, à l'exception du P22 qui montre une teneur de 16.8mg/l cela est due probablement percolation de certain type d'engrais utilisé en agriculture (KCl).

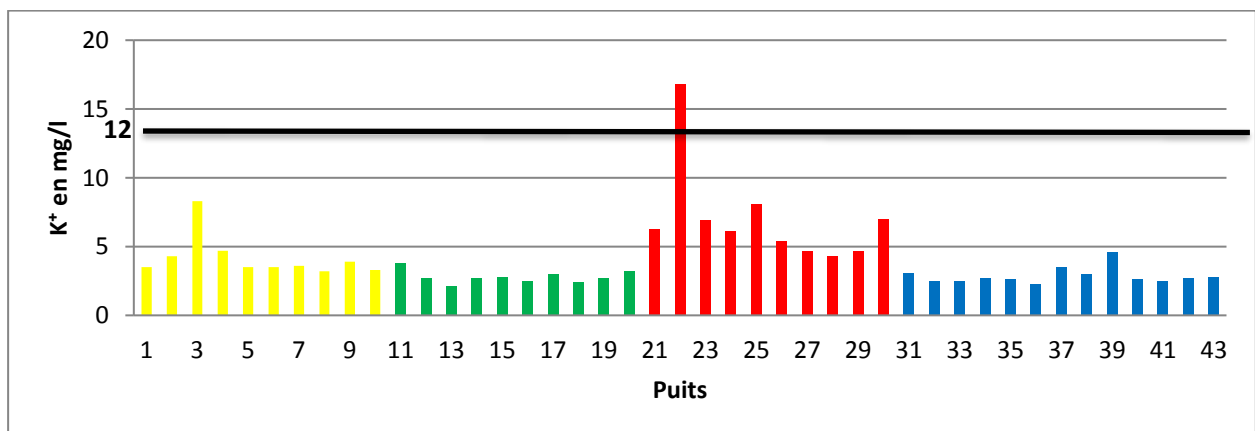


Figure 22. Variation de potassium des eaux des puits dans la zone d'étude

6. Chlorures (Cl⁻)

Les Chlorures sont généralement très répandus dans la nature, sous forme de sels de sodium (NaCl) de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂), l'ion chlore est très mobile. La présence de chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée à la nature des terrains traversés, à la pénétration de l'eau de mer dans les régions côtières, à la pollution provenant des rejets urbains et industrielles, à la pollution par la lixiviation des décharges. Chacune de ces sources de pollution peut contaminer localement les eaux de surfaces et les eaux souterraines (**conseil national de recherche du Canada**). La teneur maximale en chlorures admise pour l'AEP est de 250 mg/l (OMS 2008)

La teneur en chlorure des eaux analysées sont supérieures au seuil de potabilité admissible. Ces fortes teneurs sont extrêmement variées et liées probablement au lessivage des engrais utilisés dans le domaine agricole, s'ajoute à cela l'influence des rejets urbains (eau usée domestique) et les eaux d'irrigation pompées du oued Cheliff. La présence du substratum marneux avec des traces de gypse en profondeur peut être aussi l'une des facteurs et origines du chlorure.

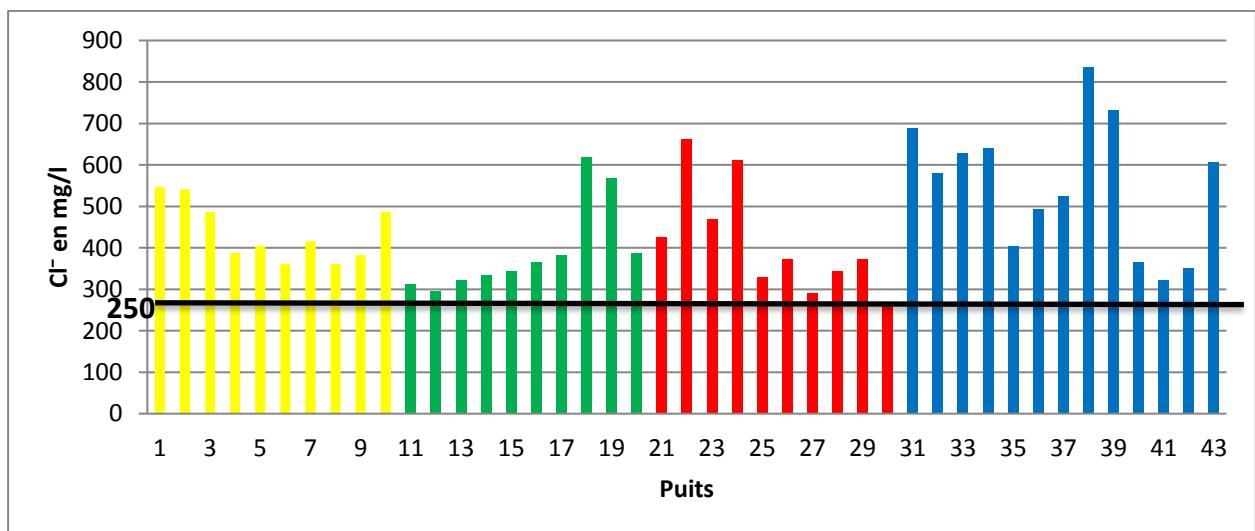


Figure 23. Variation de chlorures des eaux des puits dans la zone d'étude

7. Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les ions bicarbonate et calcium majoritairement présents dans les eaux naturelles ont pour origine la dissolution du carbonate de calcium (calcite ou aragonite) par l'intervention de l'anhydride carbonique dissous dans l'eau et proviennent de l'air atmosphérique. Les normes OMS ne fixent aucune concentration limite pour ce paramètre.

Tous les échantillons analysés présentent des teneurs supérieures à 100 mg/l et inférieures à 350 mg/l. Les fortes concentrations peuvent être liées aux terrains traversés.

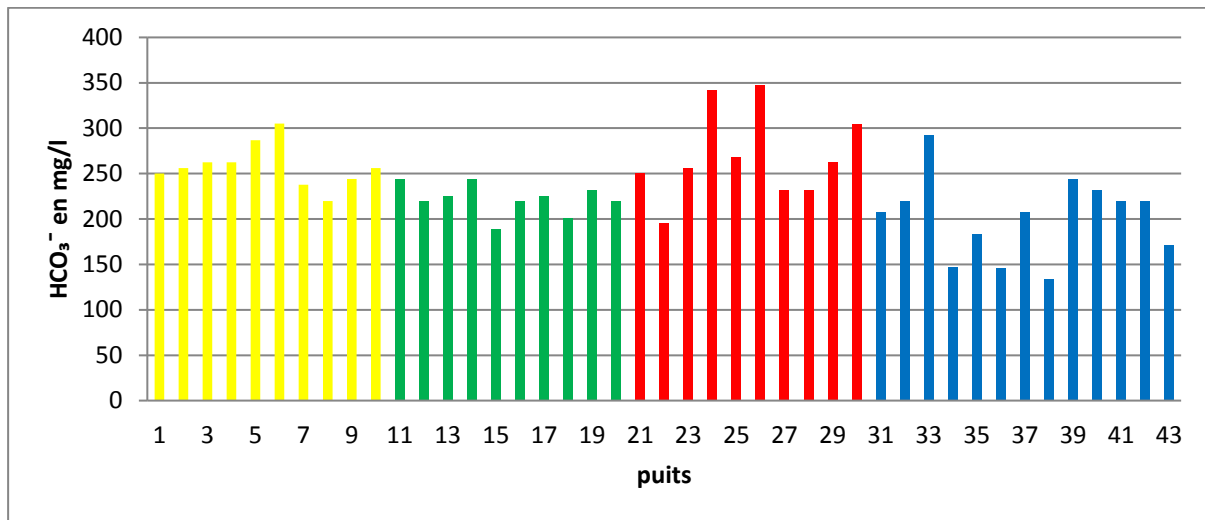


Figure 24. Variation de bicarbonates des eaux des puits dans la zone d'étude

Sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates (SO₄) peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles. L'origine de la plupart des composés sulfatés est l'oxydation des minerais de sulfites, la présence de gypses, ou de déchets urbains ou industriels.

La teneur des sulfates admise pour l'AEP est de 200 mg/l (**OMS 2008**). Les données indiquées ci-dessus montrent que puits contiennent une quantité en sulfates supérieure à la norme. À l'exception des puits (P8,14,16,20,29,31,33,36,38 et P42). Les fortes teneurs en sulfates peuvent être dues à l'influence des fosses septiques et à l'utilisation de certains engrais en agriculture comme les sulfates d'ammoniaque.

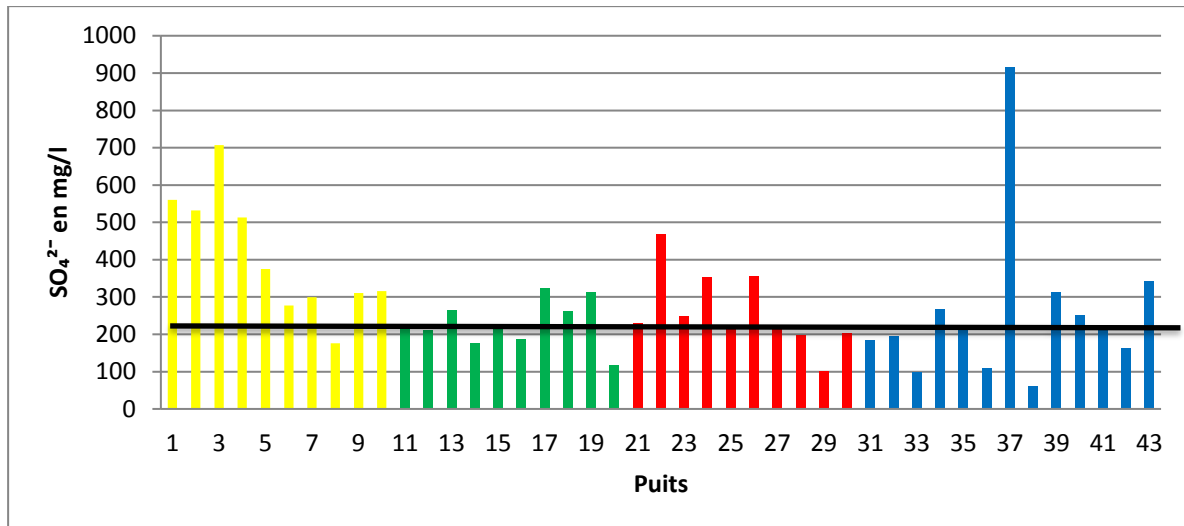


Figure 25. Variation de sulfates des eaux des puits dans la zone d'étude

IV.5. Détermination des principaux faciès chimiques

IV.5. 1. faciès chimique d'eau des puits selon diagrammes de Piper et Schoeler - Berkaloff

Les analyses hydrochimiques ont pour but d'établir la genèse et l'origine des éléments chimiques et d'identifier d'éventuels problèmes de salinité (Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , la Conductivité électrique). Des diagrammes ont été développés (diagramme de PIPER, de Schoeler - Berkaloff, Stiff, Riverside et Wilcox, Stabler) ce qui nous permet de reconnaître les faciès d'une eau analysée. Dans notre étude, deux représentations graphiques ont été retenues et utilisées : le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff et le diagramme de Piper et diagramme de Stabler.

Les figures qui suivent représentent les diagrammes des points d'eau échantillonnés pour les 04 compagnes.

Le diagramme montre que le faciès chimique dominant pour cette 1^{ère} compagne est : Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, ce qui indique un état de salinité des eaux (Figure 26).

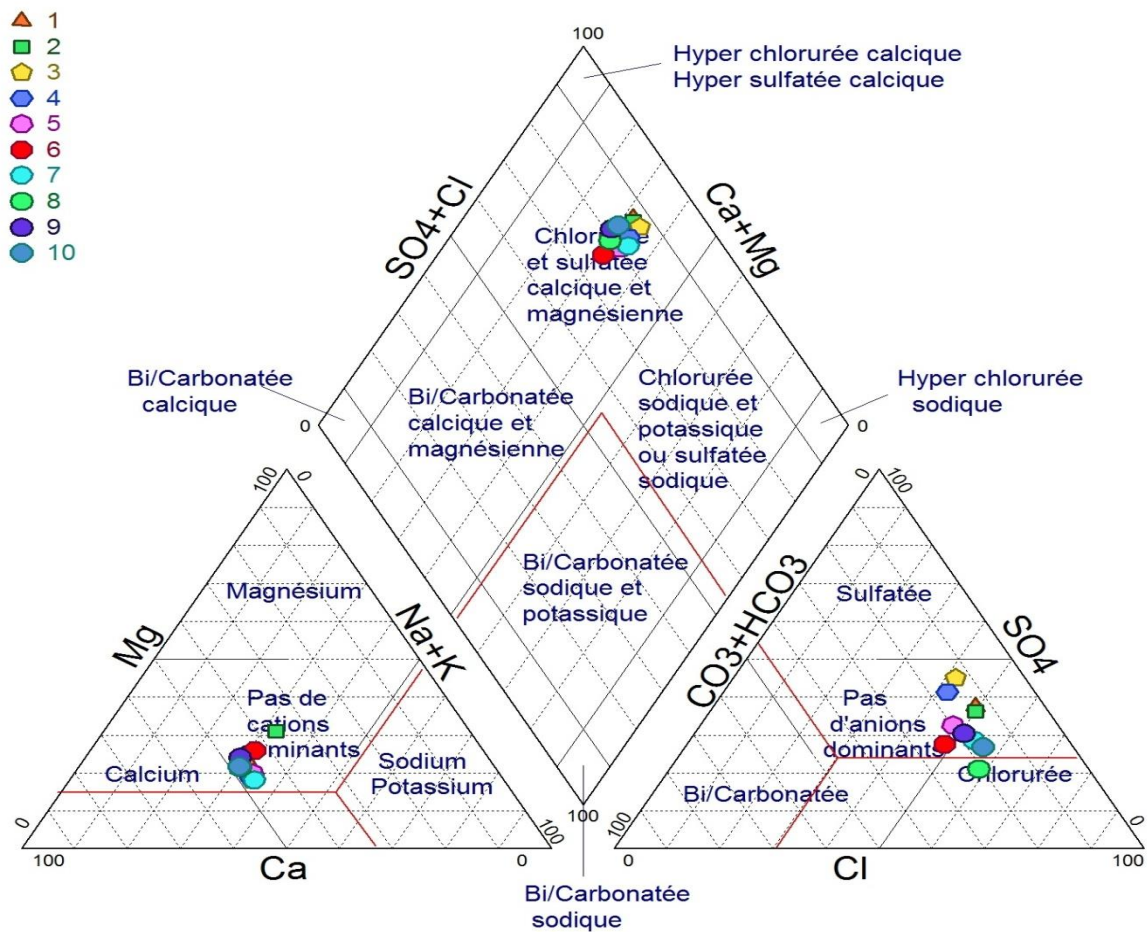


Figure 26. Diagramme de Piper pour les prélèvements de la 1^{er} campagne du 07/12/2016

Le diagramme de piper pour cette 2^{ème} campagne montre un faciès chimique : Chlorurée calcique, ce qui indique une dominance des chlorures après un lessivage des sels de la zone non-saturée.

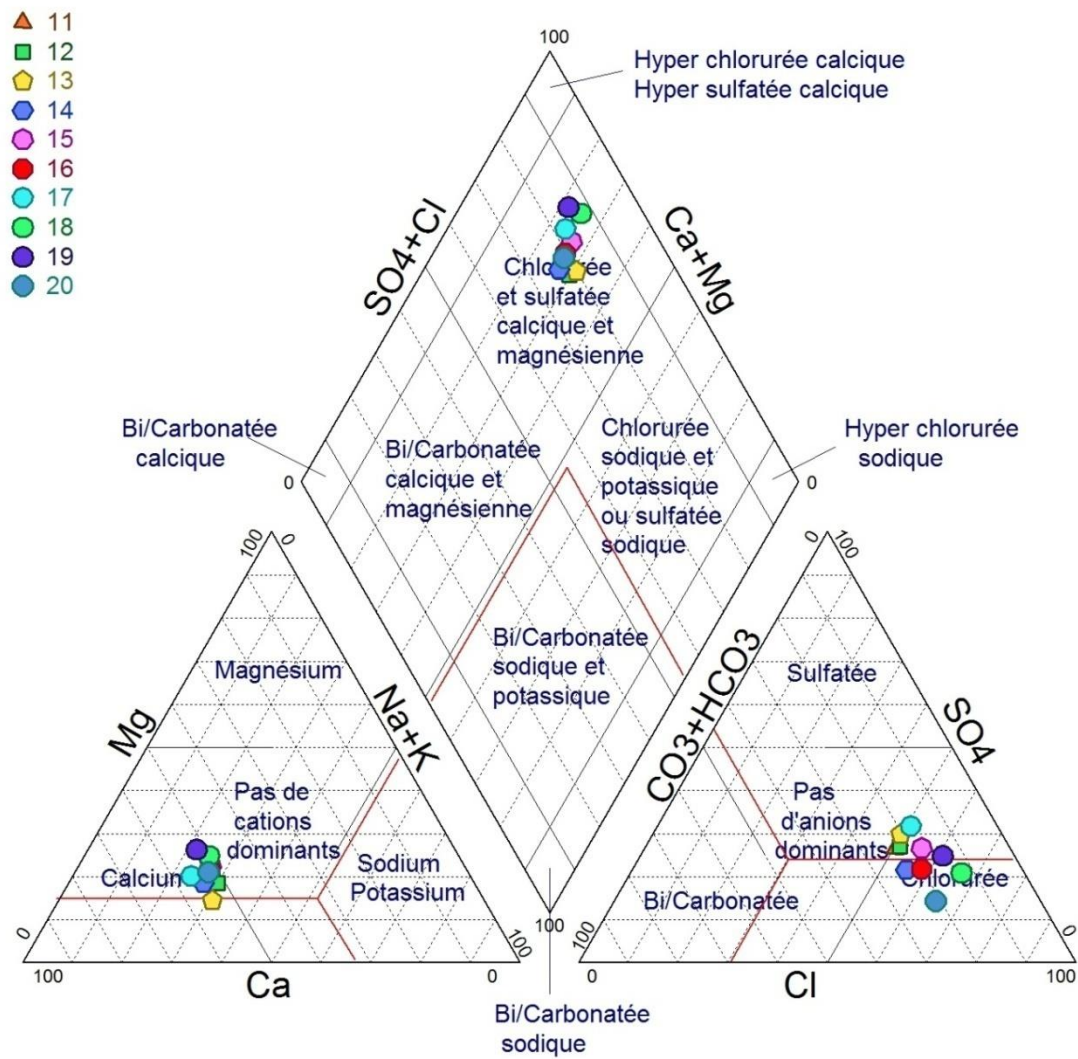


Figure 27. Diagramme de PIPER pour les prélèvements de la 2^{ème} campagne du 18/12/2016

Le diagramme indique la dominance des faciès chimiques : Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, et chloruré calcique pour la 3^{ème} campagne.

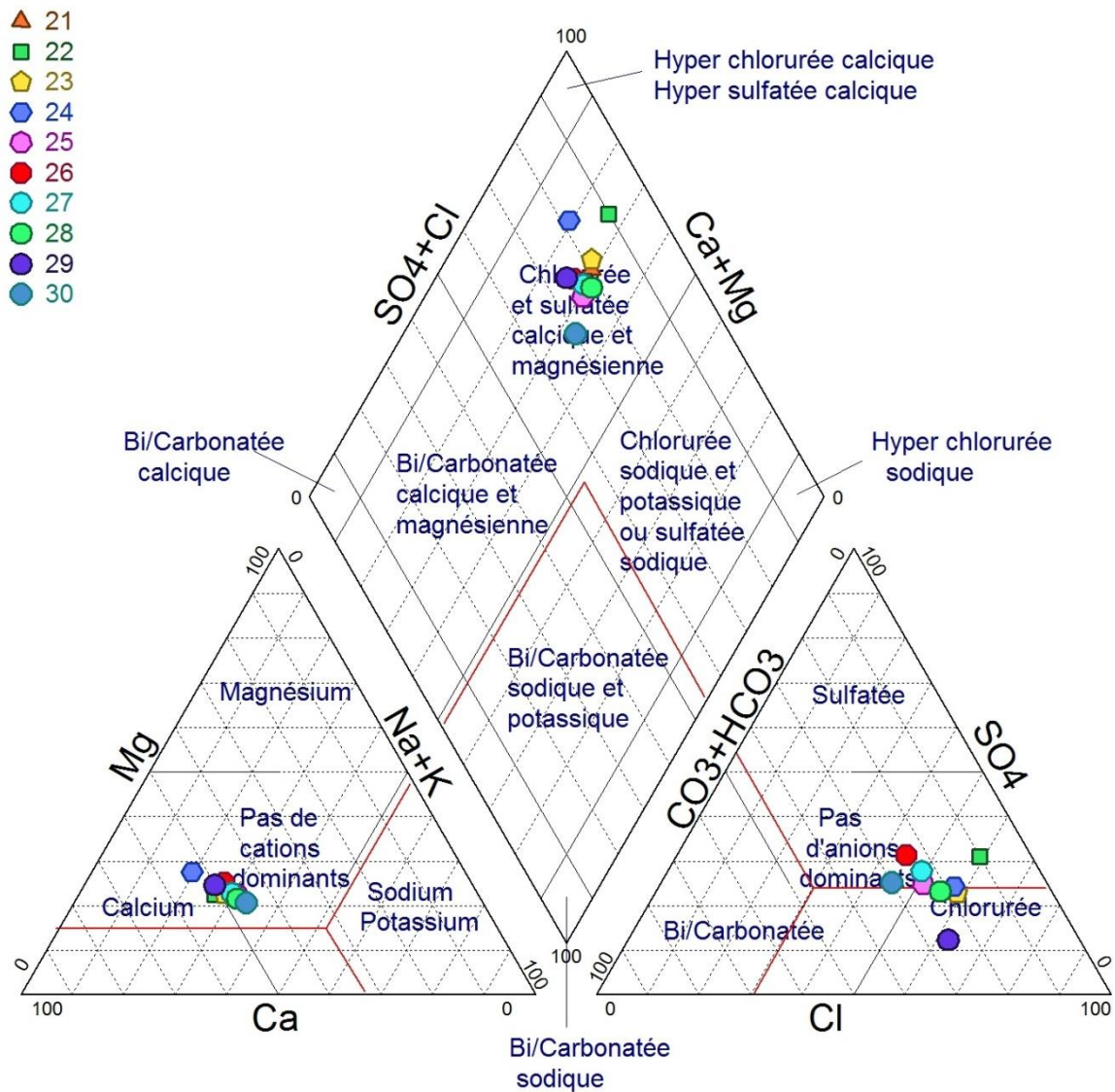


Figure 28. Diagramme de PIPER pour les prélèvements de la 3^{ème} campagne du 27/02/2017

Le diagramme (figure 29) montre un faciès chimique : Chlorurée calcique et magnésienne et chlorurée calcique pour la majorité des puits. Le puits P37 montre un faciès sulfaté calcique.

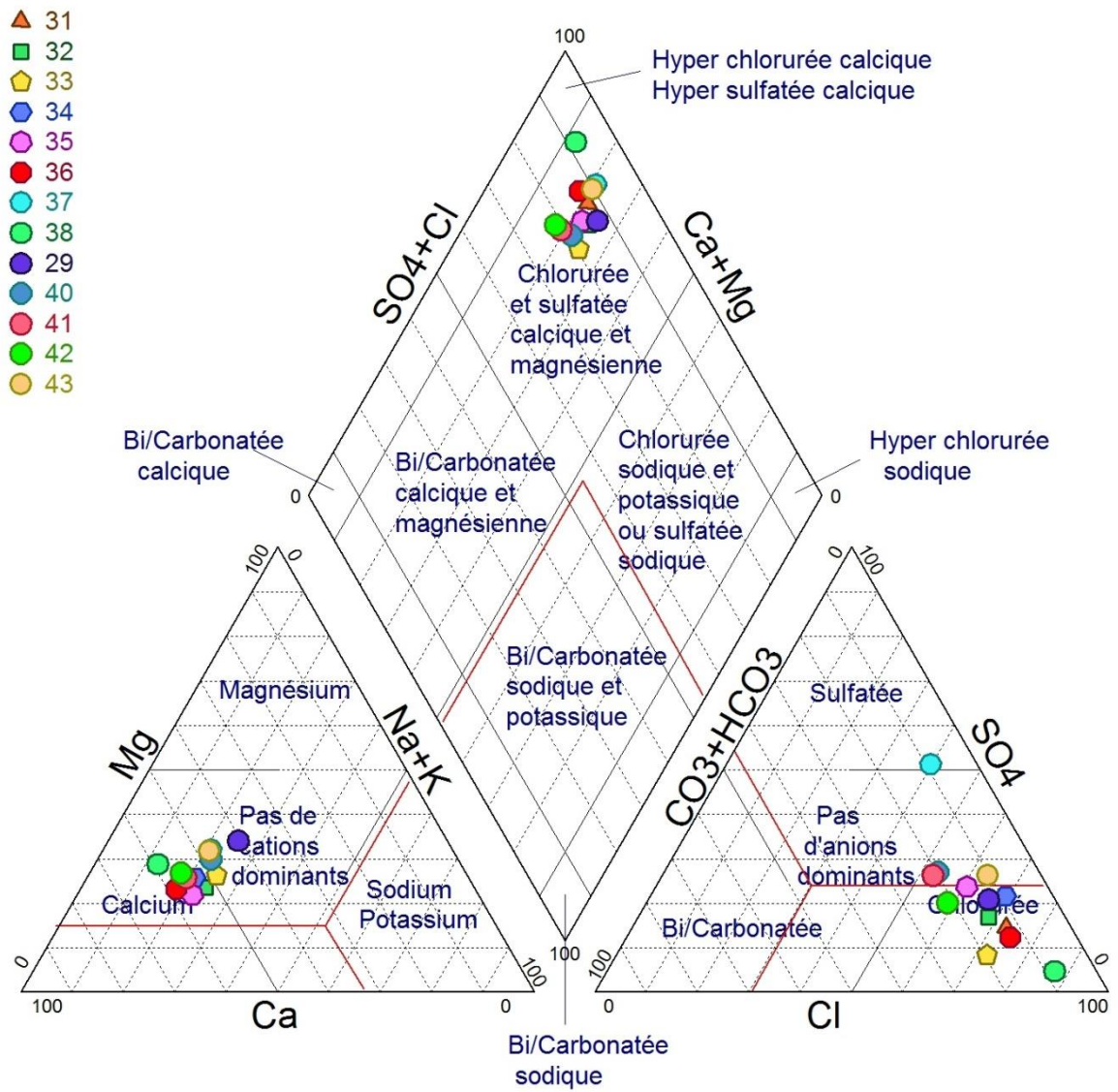


Figure 29. Diagramme de PIPER pour les prélèvements de 4^{ème} campagne du 06/03/2017

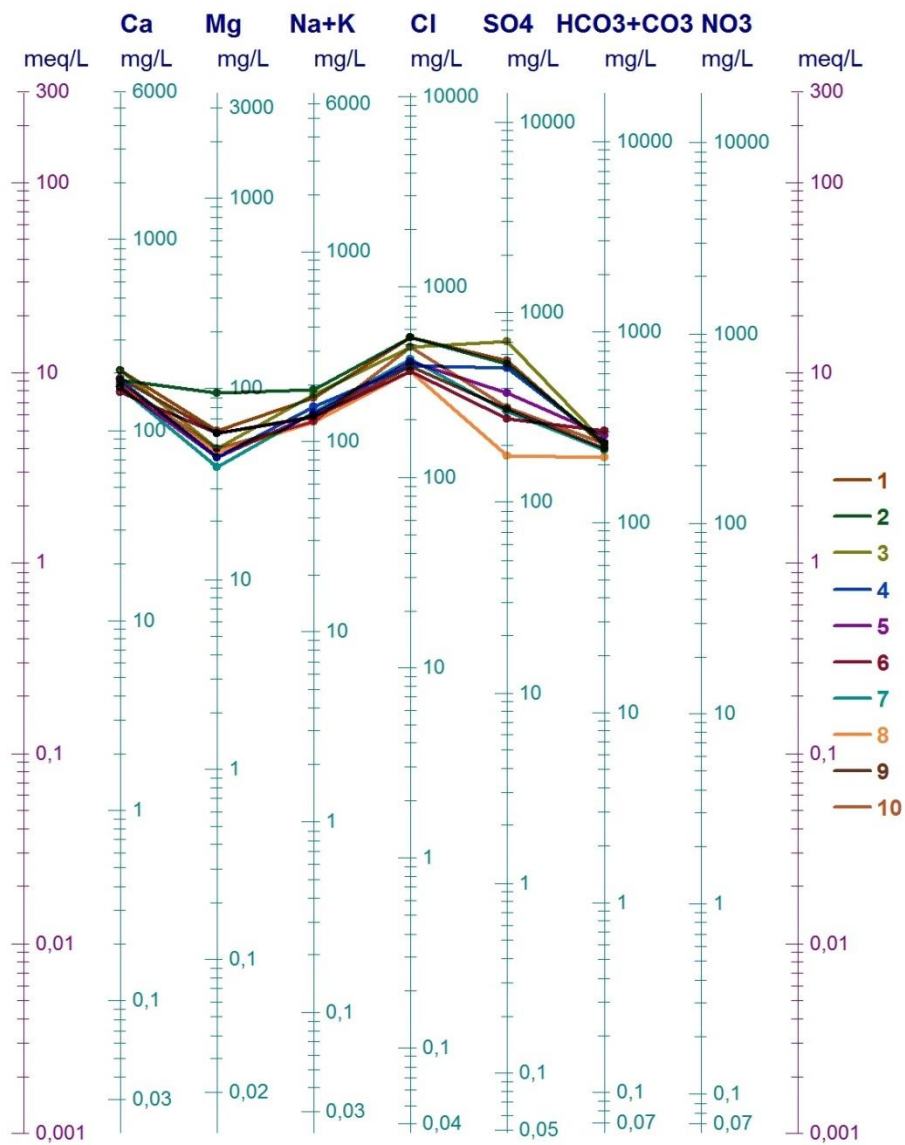


Figure 30. Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les prélèvements de la 1^{ère} campagne du 07/12 /2016

Le diagramme montre la dominance du faciès : Chloruré-Calcique, et chloruré sulfaté calcique. Ce qui coïncide avec les résultats de diagramme de Piper.

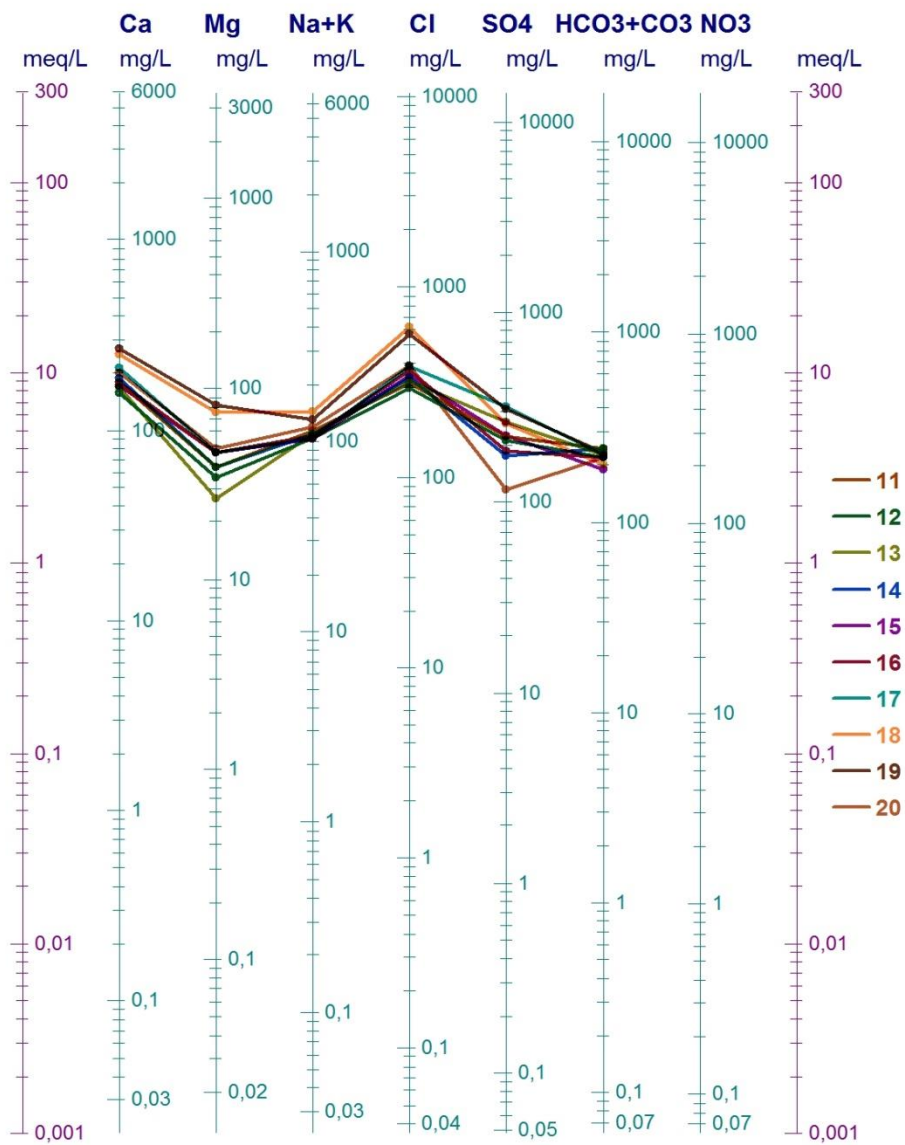


Figure 31. Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les prélèvements de la 2^{ème} campagne du 18/12/2016

Le diagramme montre la dominance de faciès Chloruré-Calcique, Ce qui coïncide avec les résultats de diagramme de Piper.

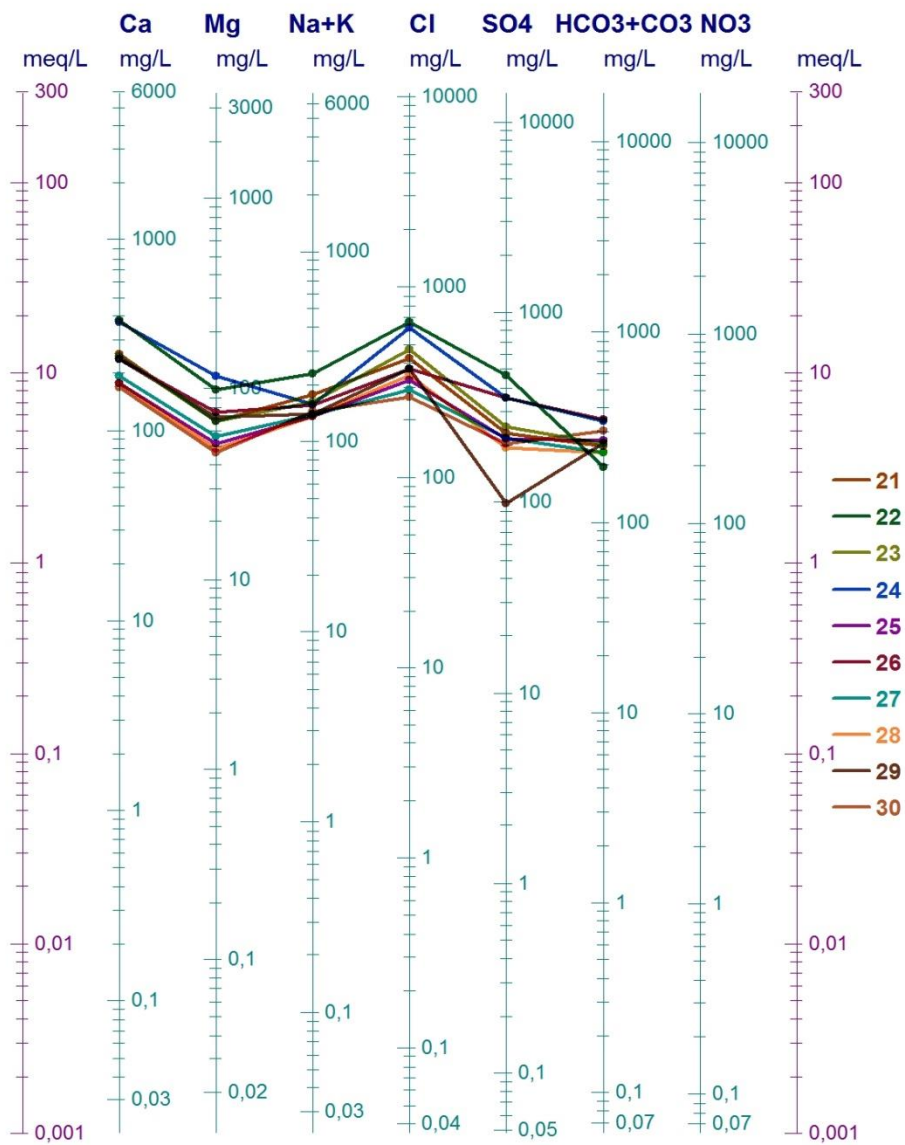


Figure 32. Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les prélèvements de la 3^{ème} campagne du 27/02/2017

Le diagramme montre la dominance du faciès Chloruré-Calcique, Ce qui coïncide avec les résultats de diagramme de Piper.

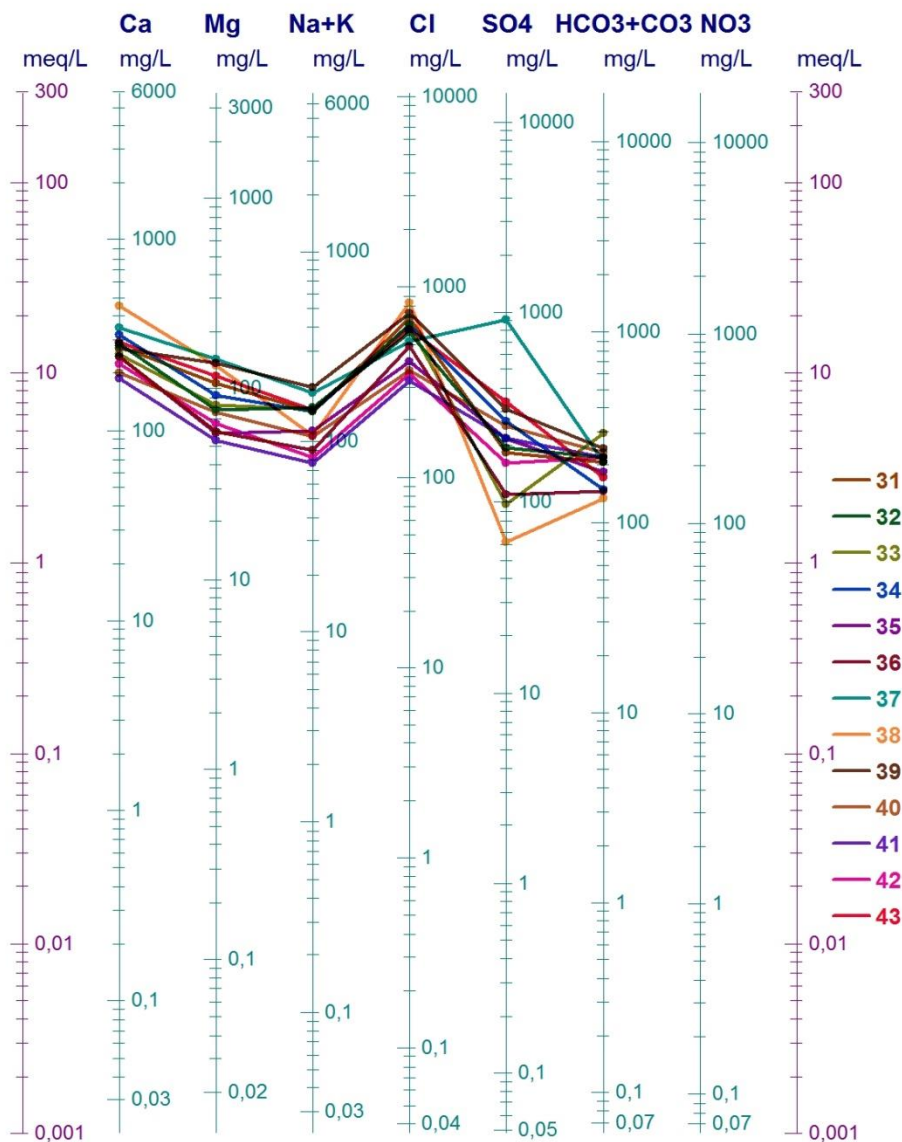


Figure 33. Diagramme de Schoeller-Berkaloff pour les prélèvements de la 4^{ème} campagne du 06/03/2017

Le diagramme montre la dominance du faciès Chloruré-Calcique pour la totalité des puits, à l'exception du P37 qui indique un faciès sulfaté calcique.

- Les diagrammes de Piper (Figures 25,26, 27 et 28) et Schoeller-Berkaloff (Figures 29, 30 31et 32) pour l'ensemble des puits, montrent le même faciès chimique qui est le Chlorurée-calcique. a l'exception du (Figure 29) représenta sur le diagramme deux type de faciès Chloruré-Calcique, et chloruré sulfaté calcique.

IV.5. 2.faciès chimique d'eau des puits selon diagramme Stabler

Selon stabler le faciès chimique des eaux souterraines dans la zone d'étude est Cl-SO₄ – Ca-Na ou Cl-SO₄ – Ca-Mg

Tableau 9. Faciès chimiques des eaux de puits par diagramme de Stabler

Faciès	Diagramme Stabler			
	1 ^{ère} compagnes	2 ^{ème} compagnes	3 ^{ème} compagnes	4 ^{ème} compagnes
Chlorurée calcique à l'exception du P37 (faciès sulfaté-calcique)	1	11	21	31
	2	12	22	32
	3	13	23	33
	4	14	24	34
	5	15	25	35
	6	16	26	36
	7	17	27	37
	8	18	28	38
	9	19	29	39
	10	20	30	40
			41	
			42	
			43	

IV.6. Processus de minéralisation

IV.6.1. Digrammes binaires

Afin de mettre en évidence les possibles contributions anthropiques et ou les interactions eau-roches, des diagrammes binaires ont été utilisés.

a. Relation ((Ca²⁺ + Mg²⁺) Vs CE)

L'examen de la relation entre Ca²⁺ + Mg²⁺ en fonction de la CE montre une nette influence du calcium et magnésium sur la CE, où une relation proportionnelle est observée entre ces paramètres.

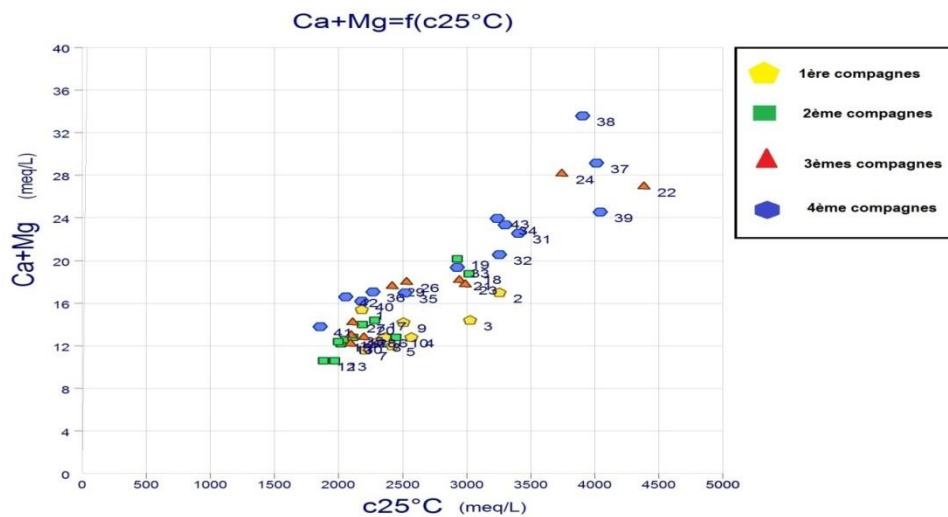


Figure 34 .relation (Ca²⁺+Mg²⁺) Vs CE 25 °C

b. Relations (Ca²⁺ Vs Cl⁻)

L'examen de relation (Ca²⁺ Vs Cl⁻) montre une relation proportionnelle entre chlorures et du calcium (Figure.35), mais avec un enrichissement des chlorures contre le calcium, cela est lié probablement à un apport anthropique (impact des fosses septiques)

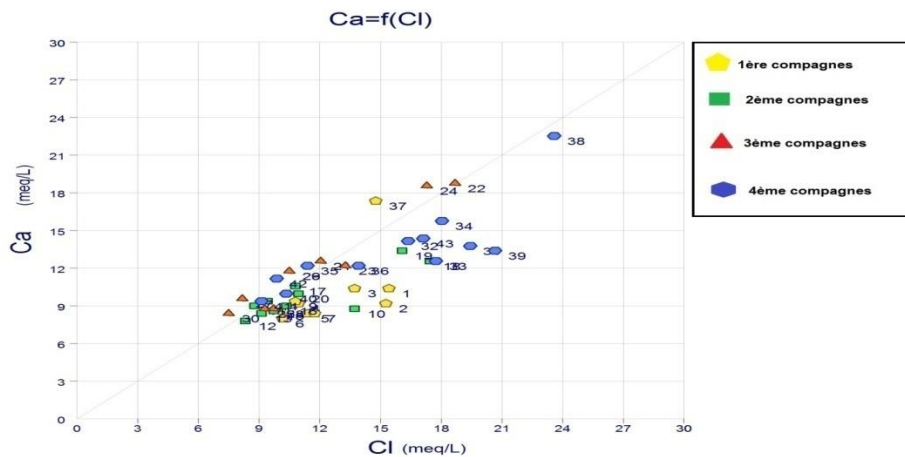


Figure 35. Relation (Ca²⁺ Vs Cl⁻)

c. Relation (Mg²⁺ Vs Cl⁻)

L'examen de la relation entre les deux éléments montre une évolution proportionnelle du magnésium en fonction des chlorures (Figure.36). Cela confirme l'origine anthropique des chlorures.

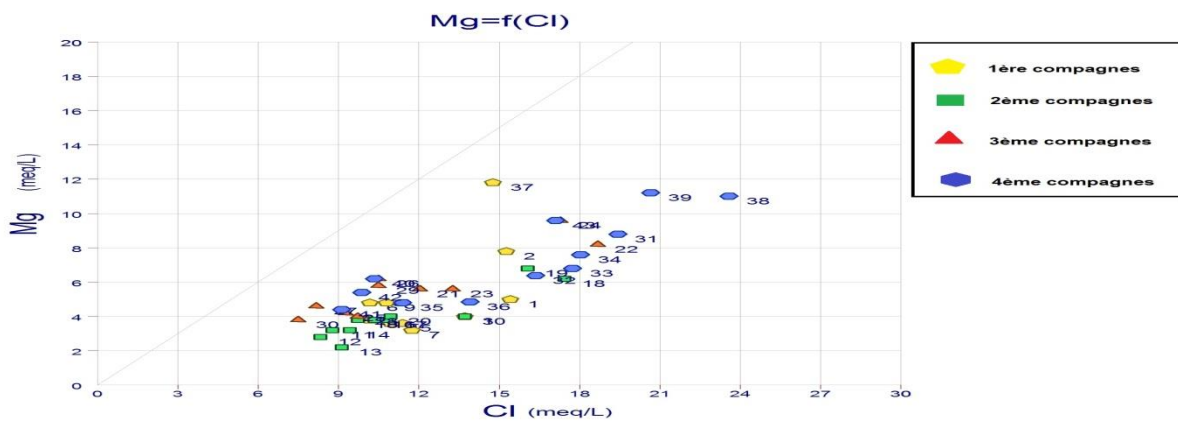


Figure 36. relation (Mg²⁺ Vs Cl⁻)

d. Relation (Ca²⁺ Vs SO₄²⁻)

La représentation du graphique des teneurs de calcium en fonction de celles en sulfates (Ca²⁺ Vs SO₄²⁻) montre que les points se situent au-dessus de la droite d'équilibre ce qui traduit par un échange de base dû à un excès de Ca²⁺ provenant des formations carbonatées (Carapace calcaire). Quatre puits de la 1^{ère} compagne (P1, P2, P3 et P4) et un puits de la 4^{ème} compagne

(P37) montrent un excès en sulfates par rapport au calcium, c'est due à une probable influence extérieure (pollution anthropique)

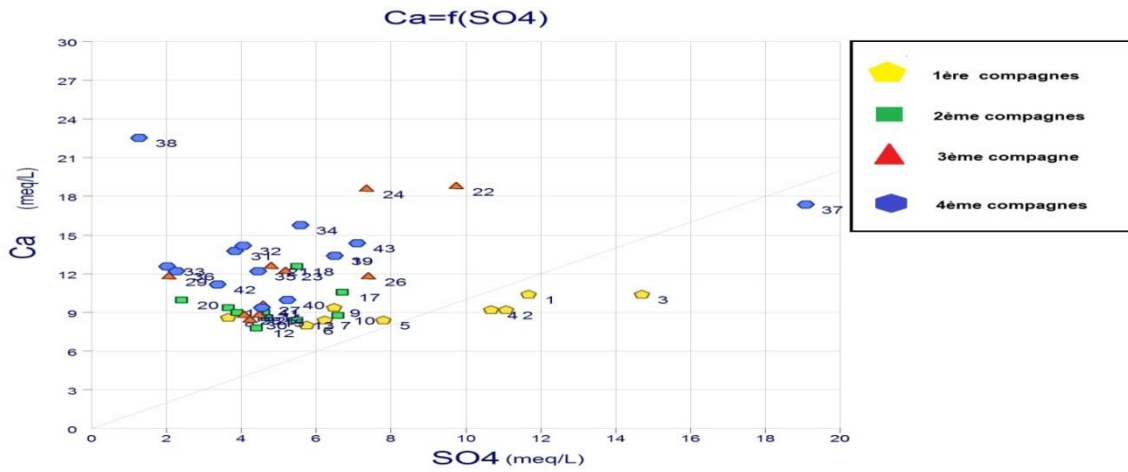


Figure 37. Relation (Ca^{2+} Vs SO_4^{2-})

e. Relation (Mg^{2+} Vs SO_4^-)

L'examen de cette relation montre une évolution proportionnelle des sulfates et du magnésium. Les excès en sulfates peuvent être liés à une pollution agricole et ou organique des eaux souterraines.

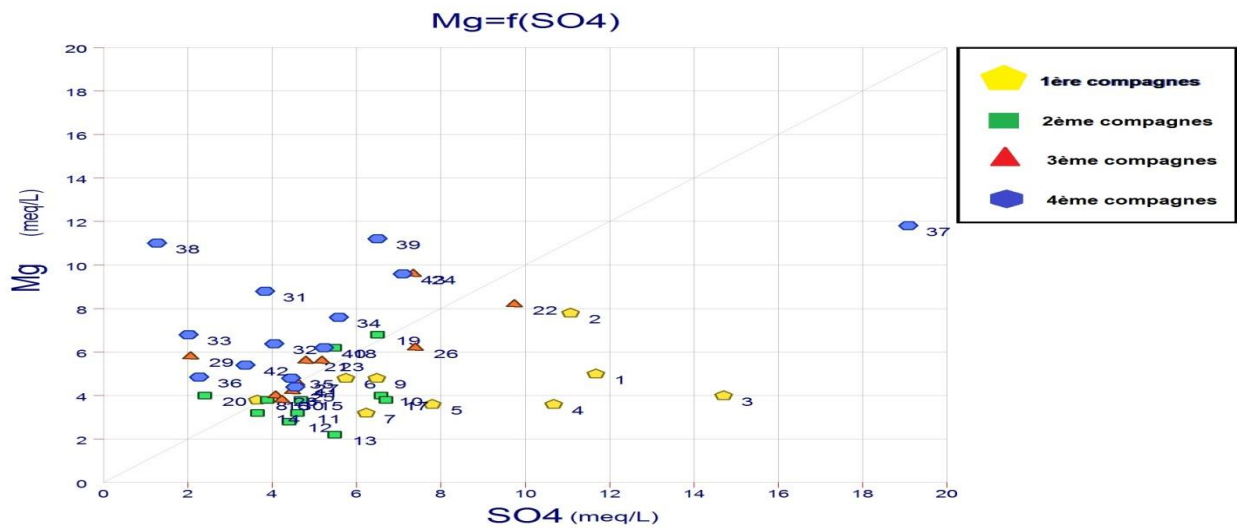


Figure 38. Relation (Mg^{2+} Vs SO_4^-)

IV.6.2. Matrice de corrélation entre les éléments

Pour mieux comprendre les relations entre les différents paramètres physico chimiques, on a procédé à l'étude des relations qui existent entre ces paramètres. Après avoir établi les nuages de points et tracés les droites de régression, nous avons tiré le coefficient de corrélation entre les élément deux à deux.

Le tableau ci-dessus montre des nombreuses corrélations : faibles et négatives, fortes et positives entre les variables. Ainsi, la TDS présente de fortes corrélations avec Ca^{2+} (0,79), Na^+ (0,91), Cl^- (0,82) et SO_4^{2-} (0,97), et il existe aussi de fortes corrélations deux à deux entre Ca^{2+} et SO_4^{2-} (0,80), et Mg^{2+} avec TH (0,88), et Na^+ avec Cl^- (0,76), SO_4^{2-} (0,86) et K^+ avec Cl^- (0,76) et Cl^- avec SO_4^{2-} (0,76).

Tableau 10. Matrices de corrélation pour la 1^{er}compagne

	T°C	pH	C25°C	TDS	O2	Ca ²⁺	Mg ²⁺	TH	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO4 ²⁻	HCO ₃ ⁻
T°C	1												
pH	0,65	1											
c25°C	-0,49	-0,60	1										
TDS	-0,81	-0,54	0,63	1									
O2	0,66	0,55	-0,66	-0,77	1								
Ca ²⁺	-0,62	-0,33	0,65	0,79	-0,75	1							
Mg ²⁺	-0,73	-0,74	0,63	0,46	-0,30	0,21	1						
TH	-0,87	-0,74	0,66	0,74	-0,51	0,65	0,88	1					
Na ⁺	-0,73	-0,70	0,70	0,91	-0,57	0,65	0,65	0,82	1				
K ⁺	-0,19	-0,10	0,67	0,64	-0,68	0,61	-0,01	0,28	0,53	1			
Cl ⁻	-0,82	-0,43	0,72	0,82	-0,44	0,65	0,55	0,74	0,76	0,25	1		
SO4 ²⁻	-0,67	-0,47	0,74	0,97	-0,79	0,80	0,28	0,61	0,86	0,76	0,76	1	
HCO ₃ ⁻	-0,21	-0,09	0,06	0,16	-0,51	-0,26	0,08	-0,07	0,04	0,09	-0,10	0,16	1

Tableau 11. Matrices de corrélation pour la 2^{ème} compagne

	T°C	pH	c25C	TDS	O ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	TH	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
T°C	1												
pH	0,36	1											
c25°C	-0,54	-0,03	1										
TDS	-0,62	-0,14	0,97	1									
O ₂	0,42	0,38	-0,41	-0,49	1								
Ca ²⁺	-0,43	-0,02	0,96	0,96	-0,43	1							

Mg ²⁺	-0,45	0,01	0,96	0,91	-0,51	0,94	1						
TH	-0,56	-0,01	0,98	0,95	-0,50	0,99	0,98	1					
Na ⁺	-0,64	-0,22	0,89	0,82	-0,35	0,82	0,81	0,83	1				
K ⁺	0,01	0,00	-0,21	-0,21	-0,55	-0,07	-0,08	-0,08	-0,17	1			
Cl ⁻	-0,57	-0,05	0,99	0,95	-0,35	0,94	0,95	0,96	0,91	-0,26	1		
SO ₄ ²⁻	-0,34	-0,28	0,47	0,66	-0,37	0,48	0,37	0,44	0,21	-0,23	0,42	1	
HCO ₃ ²⁻	-0,19	-0,17	-0,19	-0,09	-0,36	-0,02	-0,23	-0,11	-0,15	0,35	-0,26	-0,02	1

Dans le Tableau11, on observe, la CE présente de fortes corrélations avec TDS (0,97), Ca²⁺(0,96), Mg²⁺(0,96),TH(0,98) Na⁺(0,89) et Cl⁻(0,99) , Il existe aussi de fortes corrélations entre TDS et Ca²⁺(0,96), Mg²⁺ (0,91), Na⁺(0,82) et Cl⁻(0,99), Nous notons également de forte corrélation entre Ca²⁺ et Mg²⁺(0,94), TH(0,99), Na⁺(0,82) et Cl⁻(0,94), il ya aussi forte corrélation avec Mg²⁺ et TH(0,98),Na⁺(0,81) et Cl⁻(0,94), aussi forte corrélation avec Ca²⁺ et TH(0,98),Na⁺(0,81) et Cl⁻(0,96). Les corrélations sont également importantes entre TH et Na⁺(0,83), Cl⁻(0,96). Nous constatons qu'il ya aussi une forte corrélation entre Na⁺ et Cl⁻(0,91).

Tableau 12. Matrices de corrélation pour la 3^{ème} campagne

	T°C	pH	c25° C	TDS	O ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	TH	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ²⁻
T°C	1												
Ph	0,09	1											
c25°C	-0,02	0,22	1										
TDS	0,05	0,04	0,95	1									
O ₂	0,66	0,55	-0,55	-0,77	1								
Ca ²⁺	0,02	0,00	0,97	0,96	-0,07	1							
Mg ²⁺	0,07	-0,20	0,89	0,94	-0,04	0,97	1						
TH	0,04	-0,07	0,95	0,96	-0,06	0,99	0,99	1					
Na ⁺	0,20	0,60	0,88	0,63	-0,57	0,77	0,62	0,73	1				
K ⁺	0,15	0,18	0,72	0,95	0,02	0,58	0,42	0,53	0,83	1			
Cl ⁻	0,06	-0,43	0,98	0,82	-0,18	0,97	0,91	0,93	0,81	0,64	1		
SO ₄ ²⁻	0,11	0,12	0,79	0,89	-0,03	0,75	0,71	0,74	0,76	0,70	0,75	1	
HCO ₃ ²⁻	-0,03	-0,94	-0,14	0,11	0,08	0,02	0,21	0,08	-0,36	-0,44	-0,10	0,06	1

Dans le Tableau12 on observe, la CE présente de fortes corrélations avec TDS (0,95), Ca²⁺ (0,97), Mg²⁺(0,89),TH(0,95) Na⁺(0,88) ,Cl⁻(0,98) et SO₄²⁻(0,79) , existe aussi de fortes corrélations entre TDS et Ca²⁺ (0,96), Mg²⁺ (0,94), K⁺ (0,95), Cl⁻ (0,82) et SO₄²⁻(0,79) .Nous notons également de forte corrélation entre Ca²⁺ et Mg²⁺ (0,97), TH(0,99), Na⁺ (0,77), Cl⁻ (0,97) et SO₄²⁻ (0,75) .il ya aussi forte corrélation avec Mg²⁺ et TH(0,99) et Cl⁻ (0,91) .il existe aussi forte corrélation entre Na⁺ et K⁺(0,83),Cl⁻(0,81) et SO₄²⁻ (0,76). Quant aux anions, ils sont corrélés deux à deux Cl⁻ avec SO₄²⁻ (0,75).

Tableau 13. Matrices de corrélation pour la 4^{ème} campagne

	T°C	pH	c25°C	TDS	O ₂	Ca ₂ ⁺	Mg ₂ ⁺	TH	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ²⁻
T°C	1												
pH	-0,54	1											
c25°C	0,49	-0,37	1										
TDS	0,50	-0,34	0,93	1									
O ₂	-0,78	0,64	-0,53	-0,54	1								
Ca ²⁺	0,48	-0,44	0,79	0,68	-0,50	1							
Mg ²⁺	0,35	-0,23	0,92	0,93	-0,51	0,73	1						
TH	0,45	-0,38	0,91	0,84	-0,55	0,95	0,91	1					
Na ⁺	0,38	-0,23	0,83	0,84	-0,28	0,35	0,72	0,55	1				
K ⁺	0,31	-0,28	0,70	0,68	-0,58	0,28	0,76	0,52	0,69	1			
Cl	0,31	-0,15	0,85	0,64	-0,25	0,77	0,74	0,81	0,59	0,47	1		
SO ₄ ²⁻	0,34	-0,25	0,42	0,70	-0,43	0,18	0,51	0,35	0,53	0,43	-0,09	1	
HCO ₃ ²⁻	-0,02	0,04	-0,11	-0,01	0,00	-0,51	-0,10	-0,36	0,27	0,18	-0,20	-0,20	1

Dans le Tableau13 on observe, la CE présente de fortes corrélations avec TDS (0,93), Ca²⁺ (0,79), Mg²⁺(0,92), TH(0,91) et Na⁺ (0,83). Il existe aussi de fortes corrélations entre TDS et Mg (0,93), TH (0,84) et Na⁺ (0,84). Nous notons également de forte corrélation entre Ca²⁺ et TH(0,95) et Cl⁻(0,77). il ya aussi forte corrélation avec Mg²⁺ et TH(0,91) et K⁺(0,76). Ils sont corrélés deux à deux TH avec Cl⁻(0,81).

L'analyse des tableaux (14 et 15 et 16 et 17) montre que tous les ions majeurs sont bien corrélés avec la conductivité électrique et le TDS, sauf les bicarbonates qui d'ailleurs ne sont corrélés avec aucun paramètre. La température et le pH et l'oxygène dissous sont les seuls paramètres physiques qui ne sont pas corrélés avec les paramètres chimiques. Des très bonnes corrélations existent entre le calcium, le magnésium et les autres éléments (dureté , chlorures, sulfate, sodium). Quant aux cations et anions, ils sont corrélés deux à deux (TH-Cl⁻,Ca²⁺-SO₄²⁻,Cl⁻-SO₄²⁻).

IV.6.3. Indices d'échange de base (IEB)

Les indices d'échange de base (IEB) dans notre zone d'étude montrent des valeurs positives pour tous les puits, c'est à dire que le sodium et potassium des eaux sont échangés par le calcium et le magnésium des formations encaissantes. Les variations des IEB peuvent être interprétés par le principe que pendant le temps de séjour dans eaux dans la formation encaissantes un échange de base est s'effectué.

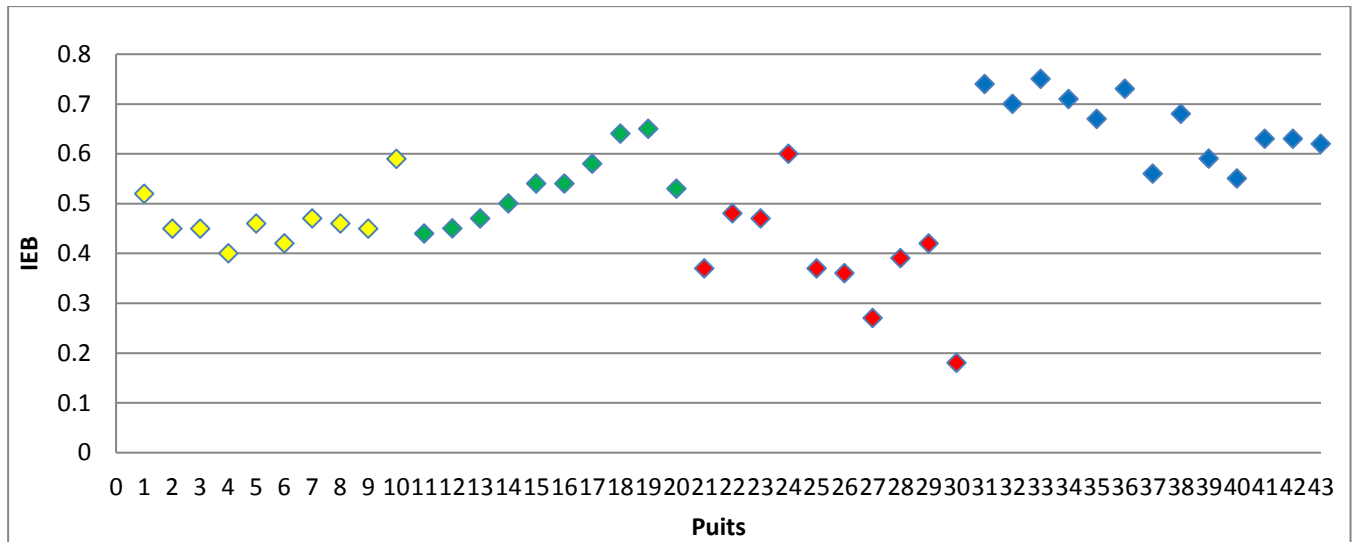


figure 39. Indices d’échange de base (IEB)

IV.7. Aptitude des eaux à l’irrigation

Les eaux destinées à l’irrigation doivent répondre à certains critères de qualité pour minimiser les risques de salinisation des terrains . Deux méthodes simplifiées permettent d’estimer l’aptitude de l’eau à l’irrigation, en fonction du type de sol. Conductivité et SAR (Sodium Absorsion Ratio)

Tableau 16. Classification des eaux d’irrigation en fonction de la C.E et du S.A.R

Degré	Qualité	Classe	L’état d’utilisation
1 ^{ère}	Excellent	C1S1	Eaux utilisables sans danger pour l’irrigation pour la plus part des cultures, sur la plus part des sols.
2 ^{ème}	bonne	C2S1 C1S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle en particulier pour l’irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol.
3 ^{ème}	Admissible	C3S1 C2S3 C3S2	En général, eau convenant à l’irrigation des cultures tolérantes aux sels sur sol bien drainés. L’évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4 ^{ème}	Médiocre	C4S1 C4S2 C3S3	Eau fortement minéralisée pouvant convenir à l’irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels sur sol et bien drainées.
5 ^{ème}	Mauvaise	C3S4 C4S3 C4S4	Eau ne convenant pas généralement à l’irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sol très perméable, bien lessivé, plantes tolérantes aux sels.

IV.7.1. Classification de l'eau à l'irrigation selon le diagramme de Riverside

La projection des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Riverside montre les eaux des puits appartiennent à la classe C4S1, sont de qualité moyenne à médiocre (Cette eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance aux sels).

Par la classe C3S1, elles sont de qualité moyenne à bonne, à utiliser avec beaucoup de précautions dans les sols lourds mal drainés.

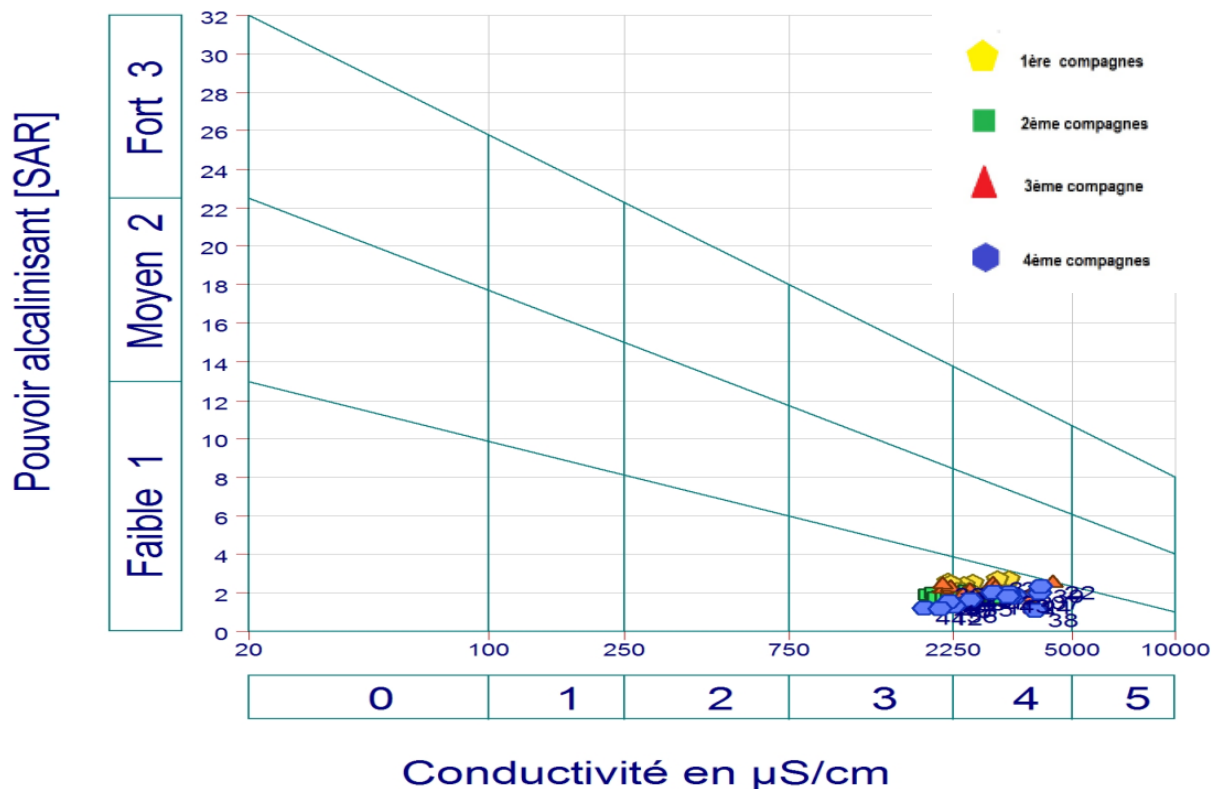


Figure 40. Projection des points sur le diagramme Riverside.

En s'appuyant sur les interprétations des classes d'eau issues du diagramme de Riverside, il en ressort qu'il y a un danger réel de salinisation avec un risque faible de sodicité des sols de ces eaux d'irrigation. L'interprétation de ces différentes classes et la suivante :

IV.7.2. L'eau à l'irrigation des puits selon diagramme Wilcox

La représentation des différents échantillons analysés sur le diagramme de Wilcox montre que les eaux des puits appartiennent aux quatre classes; excellentes, bonnes, médiocres et mauvaises. La classe bonne représentée par quelque des points d'eaux, et la classe Médiocre et mauvaise représentée par la plupart des points d'eaux .

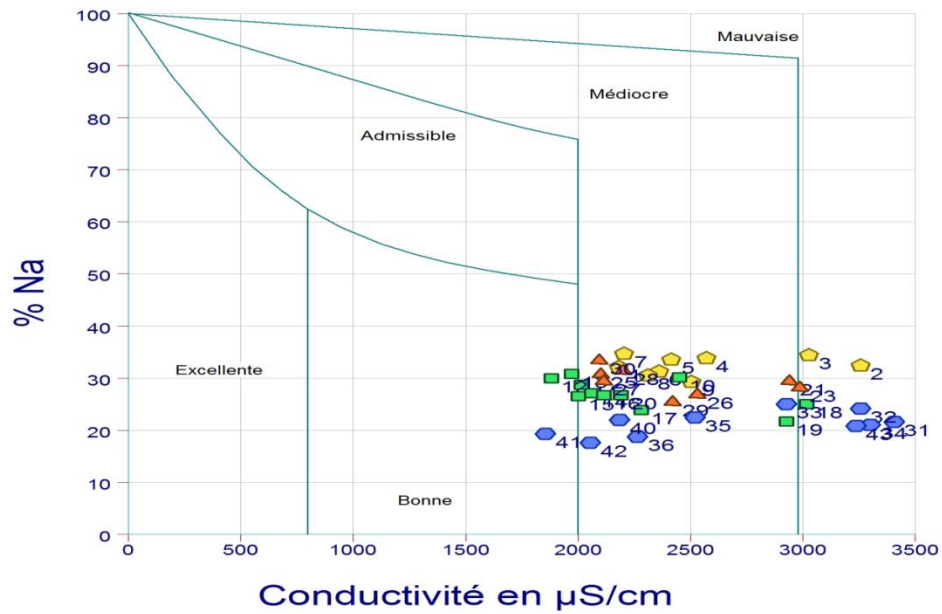


Figure 41. La projection des points sur le diagramme Wilcox.

IV.8. Paramètre bactériologique

a. Coliforme totaux

On note la présence des coliformes totaux dans les échantillons analysés avec des grandes valeurs (> 200 colonies / 100 ml) à l'exception (P4,P5,P13,P18,P24 et P26)

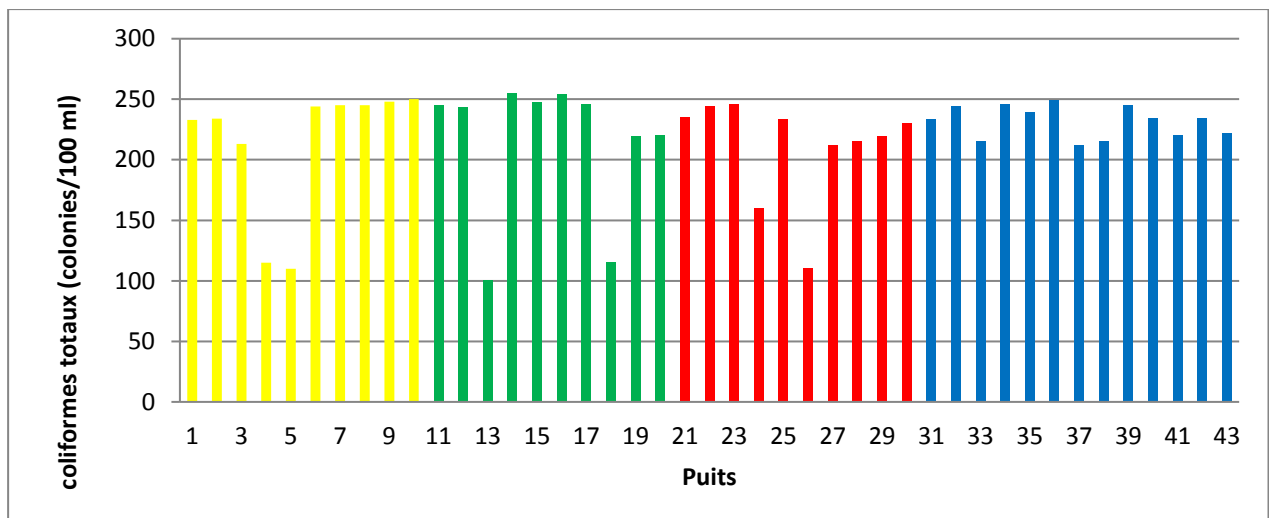


Figure 42. Variation de la Coliforme totaux des eaux des puits dans la zone d'étude

Les coliformes totaux se trouvent généralement dans la nature associés à la matière organique en décomposition. La contamination par les coliformes totaux dans ce cas, peut provenir d'une infiltration d'eau de surface.

b. Coliforme fécaux

Les coliformes fécaux sont des bactéries d'origine fécale qu'on retrouve dans le tube digestif des humains et des animaux, elles sont considérées comme étant des organismes indicateurs de pollution. Les analyses des coliformes fécaux (figure 43) présentent des valeurs supérieures à 200 colonies /100 ml dans les puits à l'exception (P1,P4,P6,P8,P10,P11,P12,P13,P14 ,P15,P16,P24,P29 et P30).

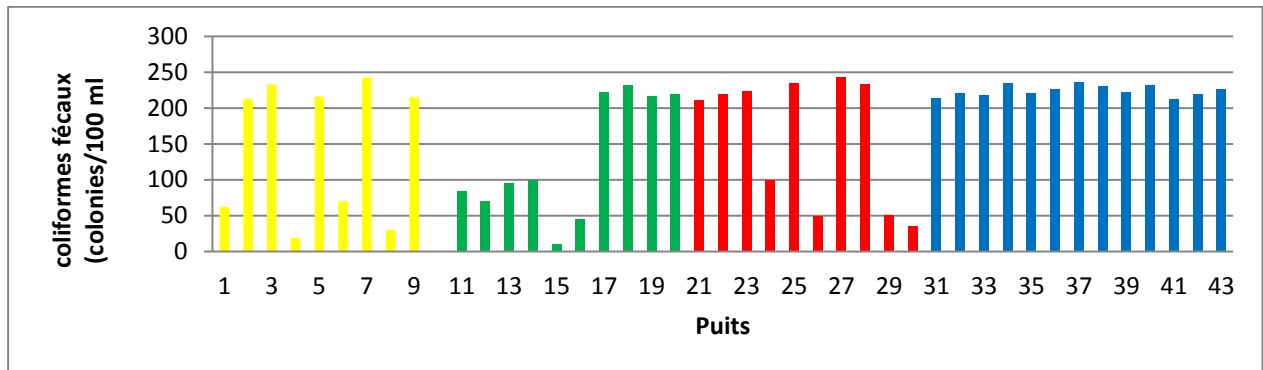


Figure 43. Variation de la Coliforme fécaux des eaux des puits dans la zone d'étude

La présence des coliformes fécaux en nombre élevé démontre une détérioration de la qualité de l'eau. Le dénombrement de ceux-ci dans l'échantillon, cela peut signifier que l'eau de ces échantillons est considérée impropre à la consommation et une désinfection d'eau doit être effectuée. Leur présence dans les eaux témoigne d'une contamination fécale, probablement dû au problème des installations des fosses septique à proximité des puits, générant une pollution fécale par l'épandage de fumier.

Streptocoques fécaux

Les échantillons analysés présentent des valeurs entre 0 et 95 colonies par 100 ml, à l'exception (P27) est supérieur à 200 colonie/100

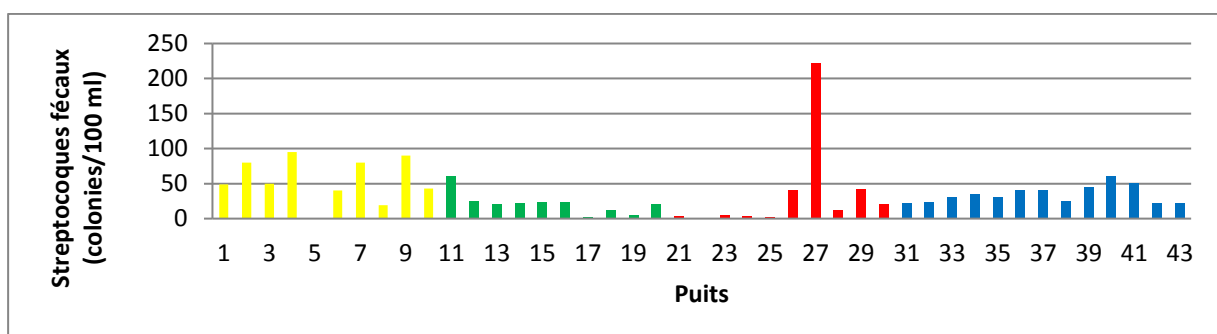


Figure 44. Variation de la Streptocoques fécaux des eaux des puits dans la zone d'étude

une indication d'une pollution fécale d'origine anthropique, ils témoignent une contamination fécale ancienne tandis que les coliformes fécaux témoignent d'une contamination d'origine fécale récente

IV.9. Conclusion

Les résultats qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des puits montrent un pH généralement basique et une conductivité élevée engendrant une minéralisation grande, et des eaux très dures pour les puits avec une potabilité mauvaise.

L'examen bactériologique montre la présence de germes indicateurs de la présence d'une pollution organique (germes totaux des coliformes totaux et fécaux ainsi que les streptocoques fécaux et totaux dans les échantillons). C'est due à une infiltration des eaux résiduaires à travers les fosses septiques.

Sur le plan chimique, de fortes teneurs en sulfates et en chlorures ont été enregistrées dans les eaux de puits. Ces résultats montrent que les eaux des puits analysés sont impropres à la consommation humaine, et montre clairement l'impact négatif des fosses septiques sur la qualité des eaux de la nappe alluviale du haut Cheliff.

CONCLUSION GÉNÉRALE
ET
RECOMMANDATIONS

Conclusion générale et Recommandation

Conclusion générale et recommandation

La zone d'étude est située dans la fraction de douar ouled Belgacem, elle fait partie de la plaine alluviale de Khemis Miliana, caractérisée par un climat semi-aride, avec des hivers froids et des étés chauds. La région a une vocation proprement agricole.

L'analyse de la carte géologique montre que le réservoir des eaux souterraines est formé par des alluvions anciennes (carapace calcaire et des alluvions grossières), ce qui rend la nappe alluviale dans cette région libre avec des profondeurs de niveau statique de la nappe < 10m. cela rend la nappe vulnérable à toutes genres de contaminants.

La présente étude, qui a pour objectif d'étudier l'impact des fosses septiques individuelles sur les eaux souterraines en absence du réseau d'assainissement au niveau de ces agglomérations rurales. L'AEP dans la région se fait en majeure partie actuellement par des puits traditionnels privés à l'exception de quelques habitations regroupées où dernièrement ont été bénéficiés d'un réseau d'alimentation en eau potable.

Les activités anthropiques et les rejets domestiques liés aux habitations font aux eaux souterraines, des ressources exposées à différentes sources de pollution en absence du réseau d'assainissement.

Nous avons basé dans notre travail sur l'étude de la qualité chimique et bactériologique de quelques puits du ouled Belkacem dans la région de Ain Sultane. Ce travail nous a permis de montrer l'impact des fosses toutes eaux sur ces puits destinés à l'AEP et l'irrigation.

L'enquête de terrain a montré que chaque habitation dispose un puits pour l'AEP et pour l'irrigation de son propre parcelle, avec un écartement entre les deux ouvrages hydrauliques une distance généralement entre 5 à 20 m. Les puits ont généralement 2.5 m de diamètre et plus de 10 m de profondeurs ont été creusés manuellement. Les fosses septiques ont été creusées parfois manuellement et d'autres fois par les rétro-chargeurs, elles ont des profondeurs de 2 à 3 m, et des largeurs et longueurs variables.

L'analyse chimique des eaux montre que les eaux souterraines des puits ont un faciès chloruré calcique généralement à l'exception de quelques puits. Quelques concentrations des éléments majeurs excèdent les normes de potabilité des eaux destinées à la boisson comme

Conclusion générale et Recommandation

le cas des chlorures et sulfates, c'est probablement due à l'impact des fosses septiques et les pratiques agricoles sur la qualité des eaux souterraines. L'analyse chimique montre aussi un pH généralement basique et des conductivités moyennement élevées engendrant ainsi des minéralisations importantes, et des eaux dures à très dures.

L'examen bactériologique durant les quatre campagnes de mesure, montre la présence de germes indicateurs de pollutions tels que les germes totaux coliformes totaux et fécaux ainsi que les streptocoques fécaux dans les échantillons. Leur présence peut être due à une infiltration des eaux résiduaires à travers des fosses septiques défectueuses.

Le présent travail ouvre la voie à des perspectives de recherche, ainsi que diverses recommandations semblent être nécessaires:

- Installation d'un réseau d'assainissement et d'autre pour l'AEP ;
- Entretien périodique des puits ;
- Une surveillance accrue ponctuée par un contrôle rigoureux et régulier de cette matière sensible, tout au long de l'année. Ceci permet de préserver la qualité des eaux de ces puits et de se prémunir contre toutes formes de pollution ;
- Étude biologique assez poussé afin de bien déterminer les sources de pollution ;
- Etude isotopique pour une meilleure compréhension du temps de transit des eaux et bien étudier le rôle de la zone non-saturée (pouvoir épuratoire du sol);

A la fin nous pouvons dire que la sensibilisation de la populations reste un moyen primordiale, et peut contribuer à la gestion durable des eaux souterraines. Cette sensibilisation se concentre surtout sur : la façon de constructions de fosses septiques, le lieu d'installation des fosses septiques, méthode de construcion et de protection des puits, l'utilisation de l'eau de javal avec une quantité bien déterminée dans le puits pour le désinfecté. Et bien sur moyen terme, il est nécessaire que les services publics pensent à l'installation d'un réseau d'assainissement dans la région malgré son coût très élevé.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Annapoorna H et Janardhana MR 2015 : Groundwater Quality Evaluation for Irrigation Suitability in Ingaldhal area of Chitradurga District, Karnataka, India. African Journal of Geo-Science Research 3(2) 25-30 p.

Abderamane H 2012 : Étude du fonctionnement hydrogéochimique du système aquifère du Chari Baguirmi (République du TCHAD) ; Thèse Doctorat, Université de Poitiers. France.

Aissaoui A 2013 : Évaluation du niveau de la contamination des eaux de barrage Hammam Grouz de la région de Oued athmania (wilaya de Mila) par les activités Agricoles, mémoire de magister, université TIZI-OUZOU (Algérie), 85p.

Alili S et hadj,N kaddour 2007 : (qualité physico-chimique des eaux souterraines de la plaine alluviale du haut Cheliff et identification des risque de pollution) centre universitaire de khemis Miliana,30p.

Bettahar S 2012 : Synthèse hydrogéologique de la nappe alluviale du Haut Cheliff, Mémoire de Master en Eau et Environnement, Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana,

Blinda M 2007 : Pollution tellurique du littoral nord-ouest du Maroc entre Pollution tellurique du littoral nord-ouest du Maroc entre Tanger et Tétouan : Caractérisation, Impact sur l'Environnement et Proposition de Solution ; Thèse de Doctorat. Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Rabat

Bonche P 2002 Nucléaire expliqué par des physiciens : 322 p.

Brigitte G., Christian C et Françoise M., 2003 : Cours d'eau et indices Biologiques, 2ème Edition EDUCAGRI. France.

Birech S et Messaoudi I 2006 : La contamination des eaux par les métaux cas de chott Ain baida de la région d'Ouargla, mémoire Ingenieur, université d'Ouargla,

Conseille notionnel de recherche du canada 1977 : le effet de halogénures alcalins dans l'environnement .CNRS n°15019 ,comité associé des critères scientifiques consternent l'état de l'environnement ,Ottawa .

Catroll D 1962 : Rain water as a chemical agent of geological process: a view. USGS Water Supply 1533, 18 - 20.

Chalon C., Leroy D., Thome J-P et Goffart A 2006 : . Les micropolluants dans les eaux de surface en Région wallonne : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. AQUAPOLE-ULG. Liège: 137p

Defulvio S et Olori L (1976) : Definitions and classification of naturally soft and naturally hard waters. In: Proc. Hardness of drinking water and public health. European Scientific Colloquium, Luxembourg 1975, Pergamon Press, New York, 95 p.

Frances, Pickford J et Reed R 1995 : Guide de l'assainissement individuel. Organisation Mondiale de la Santé.

Freeze RA et Cherry JA 1979 : Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

RFEA : Réseau Francophone sur l'Eau et l'Assainissement

Gaujout 1995 : La pollution des milieux aquatiques Aide mémoire, 2^{ème} Édition TEC et DOC. Paris.

Hamidi 2011 : (vers l'établissement des périmètres de protection des captages d'eaux souterraines destinées a l'A.E.P. de la ville de Biskra) université Mohamed khider Biskra, 35p.

Ikhlef 2006 : Carte du réseau des stations hydrométriques de la plaine d'El Khemis

Jean Baptiste G et Rabel L 1995 : Premier cours national post-graduate sur l'irrigation, le drainage et la gestion des ressources hydriques.

Lallemand A et Roux J. C 1989 : Guide méthodologique d'établissement

Des périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la Consommation humaine. Edition du BRGM, Orléans.

Michel B 2013 : Les eaux souterraines : hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources, Université Montpellier 2.

OFEFP 2004 : Rapport de l'office fédérale de l'environnement des forêts et du Paysage, industrie pratiques pour la protection des eaux souterraines ; Revue. 133p

Prasanna R., Sood A., Jaiswal P., Nayak S., Gupta V., Chaudhary V., Joshi M et Natarajan C. 2010 : Rediscovering cyanobacteria as valuable sources of bioactive compounds. Appl. Biochem. Microbiol. 46: 133 -147.

Ramade 1992 : WHO/UNEP, 1995.

REDVET 2009 : Effet d'une pollution thermique et d'une eutrophisation côtière sur la distribution du phytoplancton de la baie de Sousse, Tunisie. Revisita électronique de Vétérinaires. ISSN: 1695-7504 Vol. 10, N° 9.

Rodier J., Legube B., Merlet M., Brunet R (2009) : L'analyse de l'eau. Ed. Dunod, Paris, 1600 p.

Rouabah N 2008 : Conception de la station d'épuration de la ville de Khemis-Miliana ; mémoire d'Ingenieur.

Simler 2009 : Diagrammes software. Downloada bléât [http //www.lha.univavignon.fr/LHA-Logiciels.htm](http://www.lha.univavignon.fr/LHA-Logiciels.htm).

Tandjir 2012 :Les eaux et leurs effets subtils sur l'environnement ; Office des Publications universitaires.

Touhari F 2015 : Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique.

Zella L 2007 : l'eau pénurie et incurie,Office des publications universitaires, 8 – 37 p.

Cartes géologiques :

Notice carte géologique de Miliana n°84 2ème édition, disponible à la bibliothèque de l'université de Khemis Miliana.

Site internet :

- <http://www.FEA.com>

ANNEXES

Références bibliographiques

Annapoorna H et Janardhana MR 2015 : Groundwater Quality Evaluation for Irrigation Suitability in Ingaldhal area of Chitradurga District, Karnataka, India. African Journal of Geo-Science Research 3(2) 25-30 p.

Abderamane H 2012 : Étude du fonctionnement hydrogéochimique du système aquifère du Chari Baguirmi (République du TCHAD) ; Thèse Doctorat, Université de Poitiers. France.

Aissaoui A 2013 : Évaluation du niveau de la contamination des eaux de barrage Hammam Grouz de la région de Oued athmania (wilaya de Mila) par les activités Agricoles, mémoire de magister, université TIZI-OUZOU (Algérie), 85p.

Alili S et hadj,N kaddour 2007 : (qualité physico-chimique des eaux souterraines de la plaine alluviale du haut Cheliff et identification des risque de pollution) centre universitaire de khemis Miliana,30p.

Bettahar S 2012 : Synthèse hydrogéologique de la nappe alluviale du Haut Cheliff, Mémoire de Master en Eau et Environnement, Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana,

Blinda M 2007 : Pollution tellurique du littoral nord-ouest du Maroc entre Pollution tellurique du littoral nord-ouest du Maroc entre Tanger et Tétouan : Caractérisation, Impact sur l'Environnement et Proposition de Solution ; Thèse de Doctorat. Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Rabat

Bonche P 2002 Nucléaire expliqué par des physiciens : 322 p.

Brigitte G., Christian C et Françoise M., 2003 : Cours d'eau et indices Biologiques, 2ème Edition EDUCAGRI. France.

Birech S et Messaoudi I 2006 : La contamination des eaux par les métaux cas de chott Ain baida de la région d'Ouargla, mémoire Ingenieur, université d'Ouargla,

Conseille notionnel de recherche du canada 1977 : le effet de halogénures alcalins dans l'environnement .CNRS n°15019 ,comité associé des critères scientifiques consternent l'état de l'environnement ,Ottawa .

Catroll D 1962 : Rain water as a chemical agent of geological process: a view. USGS Water Supply 1533, 18 - 20.

Chalon C., Leroy D., Thome J-P et Goffart A 2006 : . Les micropolluants dans les eaux de surface en Région wallonne : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. AQUAPOLE-ULG. Liège: 137p

Defulvio S et Olori L (1976) : Definitions and classification of naturally soft and naturally hard waters. In: Proc. Hardness of drinking water and public health. European Scientific Colloquium, Luxembourg 1975, Pergamon Press, New York, 95 p.

Frances, Pickford J et Reed R 1995 : Guide de l'assainissement individuel. Organisation Mondiale de la Santé.

Freeze RA et Cherry JA 1979 : Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

RFEA : Réseau Francophone sur l'Eau et l'Assainissement

Gaujout 1995 : La pollution des milieux aquatiques Aide mémoire, 2^{ème} Édition TEC et DOC. Paris.

Hamidi 2011 : (vers l'établissement des périmètres de protection des captages d'eaux souterraines destinées a l'A.E.P. de la ville de Biskra) université Mohamed khider Biskra, 35p.

Ikhlef 2006 : Carte du réseau des stations hydrométriques de la plaine d'El Khemis

Jean Baptiste G et Rabel L 1995 : Premier cours national post-gradue sur l'irrigation, le drainage et la gestion des ressources hydriques.

Lallemand A et Roux J. C 1989 : Guide méthodologique d'établissement

Des périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la Consommation humaine. Edition du BRGM, Orléans.

Michel B 2013 : Les eaux souterraines : hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources, Université Montpellier 2.

OFEFP 2004 : Rapport de l'office fédérale de l'environnement des forêts et du Paysage, industrie pratiques pour la protection des eaux souterraines ; Revue. 133p

Prasanna R., Sood A., Jaiswal P., Nayak S., Gupta V., Chaudhary V., Joshi M et Natarajan C. 2010 : Rediscovering cyanobacteria as valuable sources of bioactive compounds. Appl. Biochem. Microbiol. 46: 133 -147.

Ramade 1992 : WHO/UNEP, 1995.

REDVET 2009 : Effet d'une pollution thermique et d'une eutrophisation côtière sur la distribution du phytoplancton de la baie de Sousse, Tunisie. Revisita électronique de Vétérinaires. ISSN: 1695-7504 Vol. 10, N° 9.

Rodier J., Legube B., Merlet M., Brunet R (2009) : L'analyse de l'eau. Ed. Dunod, Paris, 1600 p.

Rouabah N 2008 : Conception de la station d'épuration de la ville de Khemis-Miliana ; mémoire d'Ingenieur.

Simler 2009 : Diagrammes software. Downloada bléât [http //www.lha.univavignon.fr/LHA-Logiciels.htm](http://www.lha.univavignon.fr/LHA-Logiciels.htm).

Tandjir 2012 :Les eaux et leurs effets subtils sur l'environnement ; Office des Publications universitaires.

Touhari F 2015 : Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique.

Zella L 2007 : l'eau pénurie et incurie,Office des publications universitaires, 8 – 37 p.

Cartes géologiques :

Notice carte géologique de Miliana n°84 2ème édition, disponible à la bibliothèque de l'université de Khemis Miliana.

Site internet :

- <http://www.FEA.com>